

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**



**LIBEREC 2008**

**Bc. LEOŠ JIRÁSEK**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta textilní

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor: Textilní materiálové inženýrství

Katedra netkaných textilií

**Textilní sendvičové jádro**

**Textile sandwich core**

Autor: Bc. Leoš Jirásek

Vedoucí BP práce: Ing. Jaroslav Hanuš, Ph.D.

Konzultant: Ing. Ondřej Novák

**Počet stran : 73**

**Počet příloh : 4**

**Počet obrázků : 39**

**Počet grafů : 8**

**Počet tabulek : 6**



## Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce, či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených universitou na vytvoření díla (až do její skutečné výše).

V Liberci, dne 12. května 2008

.....

podpis

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Hanušovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále pak Ing. Ondřeji Novákovi a RNDr. Bohuslavu Charvátovi. Samozřejmě mé díky patří také celé mé rodině za všestrannou podporu při mém vysokoškolském studiu.

## Anotace

Tématem diplomové práce je „Textilní sendvičové jádro“ jako základ pro kompozity využívané v automobilovém průmyslu.

V obecné části je vypracována rešerše na téma „sendvičová jádra pro kompozity“ se zaměřením na jejich vlastnosti a možnosti aplikace textilu při jejich výrobě. Stručně jsou zde popsány současné možnosti výroby 3D netkaných textilií a nový způsob výroby 3D netkané textilie podle PV 2007-293. Dále jsou zde navrženy technologické postupy vedoucí ke zlepšení vlastností produktu vyrobeného podle PV 2007-293 a způsoby testování těchto vlastností.

V experimentální části jsou realizovány navržené úpravy, upravené produkty jsou testovány a porovnávány s reálným produktem.

V závěru je uvedeno shrnutí a zhodnocení výsledků měření.

## Annotation

A subject of this diploma is "Textile sandwich core" as basis for composite used in car industry.

In the general part is recherche focused on "sandwich cores for composite" with a specialization on theirs properties and possible application in textiles during theirs production. In brief there are described current possibilities in production of the 3D unwoven textiles and new method of production the 3D unwoven textile by new technical specification PV 2007-293. As next are proposed technological processes there leading to improve quality properties of product made by new technical specification PV 2007-293 and methods of testing these properties.

In the experimental part are realized proposed modifications and modiflicated products are tested and calibrated with grey product.

At the epilogue there is a summary and evaluation of the results of measurments.

## Klíčová slova – Keywords

sendvičové jádro – sandwich core

kvazi-příze – quasi-yarn

voštinový blok – honeycomb

distanční pletenina – distant knitted fabric

3D textilie – 3D textiles

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$n$	$[-]$	počet kmitů pilky i lišty
$v_2$	$[m.s^{-1}]$	výstupní rychlost polotovaru
$H$	$[mm]$	výška výrobku
$v_1$	$[m.s^{-1}]$	vstupní rychlost polotovaru
$v_3$	$[m.s^{-1}]$	výstupní rychlost produktu
$\lambda$	$[Wm^{-1}K^{-1}]$	tepelná vodivost
$p$	$[mm]$	rozteč zubů tvarovacích kol
$z$	$[-]$	počet zubů tvarovacího kola
$n_2$	$[s^{-1}]$	otáčky tvarovacích kol
$P$	$[mm]$	průnik zubů tvarovacích kol
$a$	$[mm]$	vzdálenost vrcholů dvou zubů na přímce
$l$	$[mm]$	délka spojnice (přímky) mezi vrcholy třech zubů
$\Delta$	$[mm]$	výška kruhové úseče
$O$	$[mm]$	osová vzdálenost tvarovacích kol
$r_a$	$[mm]$	poloměr hlavové kružnice tvarovacího kola
$\lambda$	$[mm]$	délka vlnovky
$t$	$[mm]$	tloušťka polotovaru
$T$	$[mm]$	tloušťka produktu
$g$	$[g.m^{-2}]$	plošná hmotnost polotovaru
$G$	$[g.m^{-2}]$	plošná hmotnost produktu
$k$	$[-]$	zhuštění produktu
$\rho$	$[m^{-1}]$	vlnčet (počet vln na 1m polotovaru)
$m_{obj}$	$[kg.m^{-3}]$	objemová hmotnost
$h$	$[m]$	tloušťka
$m$	$[g]$	hmotnost
$S$	$[m^2]$	plocha
$T$	$[Pa]$	tuhost v ohybu
$E$	$[Pa]$	Youngův modul pružnosti
$J$	$[m^4]$	plošný moment setrvačnosti
$F$	$[N]$	síla
$Y$	$[m]$	průhyb
$C$	$[Pa]$	odpor proti stlačení
$\sigma$	$[Pa]$	napětí do přetrhu



$\varepsilon$	[%]	tažnost
$H_1$	[-]	frekvenční přenosová funkce
$H_i$	[-]	frekvenční přenosová funkce zdrojového signálu
$H_r$	[-]	frekvenční přenosová funkce odraženého signálu
$R$	[-]	komplexní koeficient odrazivosti
$k$	[-]	vlnové číslo
$l$	[m]	vzdálenost mezi prvním mikrofonem a vzorkem
$s$	[m]	vzdálenost mezi měřicími mikrofony
$\alpha$	[-]	koeficient zvukové pohltivosti
$E_s$	[Pa]	sekantový modul pružnosti

## Obsah

1. Úvod.....	12
Předmět a cíl diplomové práce .....	14
2. Teoretická část.....	15
2.1. Sendvičová jádra pro kompozity.....	15
2.1.1. Voštinové bloky .....	15
2.1.2. Skládané voštinové bloky.....	16
2.1.3. Vlastnosti sendvičových materiálů s voštinovým jádrem .....	19
2.1.4. Aplikace sendvičových materiálů v automobilovém průmyslu .....	20
2.2. Distanční pleteniny.....	22
2.2.1. Rašlové stroje na výrobu distančních pletenin .....	22
2.2.2. Vlastnosti a výhody osnovních distančních pletenin .....	24
2.2.3. Použití distančních pletenin .....	24
2.3. Kolmo kladené netkané textilie.....	25
2.3.1. Výroba 3D textilií.....	26
2.3.2. Možnosti fixace struktury.....	28
2.3.3. Vlastnosti a aplikace 3D textilií .....	31
2.4. Produkt vyrobený podle PV 2007-293 .....	32
2.4.1. Princip výroby produktu PV 2007-293 .....	32
2.4.2. Mechanismus pro výrobu produktu PV 2007-293 .....	33
2.4.3. Vztahy mezi technologickými parametry a parametry produktu .....	34
2.5. Úpravy produktu .....	37
2.5.1. Aplikace disperzí.....	37
2.5.1.1. Způsoby nanášení pojiva na vlákennou vrstvu .....	37
2.5.1.2. Koagulace, sušení, síťování.....	39
2.5.1.3. Nejpoužívanější polymery a kopolymery ve formě disperzí .....	40
2.5.2. Aplikace prášku .....	40
2.6. Návrh a cíl experimentu .....	41
2.6.1. Návrh výroby a úprav vzorků produktu .....	42
2.6.2. Návrh testování vzorků .....	43
2.6.2.1. Měření ohybových vlastností .....	44
2.6.2.2. Měření odporu proti stlačení .....	45
2.6.2.3. Měření pevnosti v tahu .....	47
2.6.2.4. Měření pohltivosti zvuku .....	48

3.	Experimentální část .....	50
3.1.	Příprava vzorků pro měření .....	50
3.1.1.	Výroba 3D textilie .....	50
3.1.2.	Úprava aplikací zpěněné disperze .....	51
3.1.3.	Úprava aplikací termoplastického prášku .....	52
3.1.4.	Úprava aplikací armovací mřížky .....	52
3.1.5.	Úprava pomocí dvojnásobného zpevnění povrchu kvazi-přízemí .....	53
3.1.6.	Přehled vzorků vyrobených k testování .....	53
3.2.	Testování vzorků .....	53
3.2.1.	Měření ohybových vlastností .....	53
3.2.2.	Měření kompresních vlastností .....	56
3.2.3.	Měření pevnosti v tahu .....	58
3.2.4.	Měření pohltivosti zvuku .....	63
4.	Shrnutí získaných informací.....	65
5.	Závěr.....	68
	Seznam použité literatury .....	69
	Seznam obrázků .....	71
	Seznam tabulek .....	72
	Seznam grafů .....	72

# 1. Úvod

Textilní, oděvní, stavební, nábytkářský i jiný průmysl vyžaduje pro výrobky, jakými jsou například tepelně izolační oděvní vložky, tepelně izolační výplně do přikrývek a spacích pytlů, výplně do čalouněného nábytku, stavební tepelné a hlukové izolace, velmi „objemné“ vláknenné materiály. Od těchto materiálů se požaduje, aby při deformaci pružily a vykazovaly malý podíl trvalé deformace při praktickém použití. Zvýšení odolnosti vůči stlačení se u těchto materiálů dosahuje tím, že vlákna jsou ve vrstvě orientovaná převážně kolmo k rovině textilie, na rozdíl od vrstev s převážně horizontálně uloženými vlákny. Vlákna jsou pak v průběhu stlačování namáhána nejprve na vzpěr, a až potom na ohyb. Tyto materiály, nazývané též 3D textilie, jsou vyráběny kolmým kladením. Pro výrobu vláknenných vrstev kolmým kladením existuje několik zařízení, která však umožňují vyrábět textilie s tloušťkou nejméně patnáct milimetrů, čímž je výrazně omezeno jejich využití.

Automobilový průmysl vyžaduje v poslední době produkty tenčí, v intervalu tloušťky  $3\div 12$  mm, které jsou využívány do textilních kompozitů - sendvičů, jako tzv. sendvičová jádra.

Na katedře netkaných textilií v Liberci bylo v letech 2006/2007 vyvinuto nové zařízení pro vytváření textilie definované tloušťky skládáním plošné textilie do skladů a následným mechanickým zpevněním. Produkt má podobnou strukturu jako textilie vyráběné kolmým kladením, ale lze ho vyrábět v tloušťkách do deseti milimetrů. Očekává se, že by tyto nové textilní produkty mohly sloužit jako základ pro požadovaná sendvičová jádra. Mechanické vlastnosti, jako jsou pevnost, ohybová tuhost a kompresní vlastnosti ani akustické vlastnosti těchto nových výrobků nejsou doposud známy a jejich prvním testováním se zabývá právě tato diplomová práce.

Práce je rozdělena do dvou částí. V teoretické části práce jsou zmíněny typy sendvičových jader dnes využívaných v automobilovém průmyslu. Jsou popsány současné způsoby výroby kolmo kladených textilií, jejich vlastnosti, struktura a využití, dále je popsán produkt vyráběný podle PV 2007-293, způsob jeho výroby, strojní zařízení a jsou uvedeny možnosti úprav vlastností produktu. V závěru této části jsou uvedeny metody navržené v této práci pro testování mechanických vlastností nového produktu.

V praktické části se tato diplomová práce zabývá konkrétním testováním mechanických, především ohybových, kompresních a akustických vlastností produktu vyrobeného podle PV 2007-293 a vlivu vybraných úprav na tyto vlastnosti. Předpokládá se totiž, že vhodné úpravy povrchů produktu, například pěnou akrylátové disperze, termoplastickým práškem, zvýšením počtu kvazi-přízí, a pod. příznivě ovlivní vlastnosti charakteristické pro sendvičové jádro.

## ***Předmět a cíl diplomové práce***

*Předmětem práce* je nový typ netkané textilie vyrobený podle PV 2007-293. Jedním z aplikačních záměrů budoucích výrobců je využít tento produkt jako „sendvičové jádro“ do kompozitů, tzv. sendvičů, pro interiéry automobilů (stropy, dveře a pod.).

Z tohoto pohledu je *cílem diplomové práce* poskytnout podklad pro posouzení vhodnosti produktu k jeho aplikaci v automobilovém průmyslu.

*Dílčí cíle* byly pak formulovány následovně:

1. Shromáždit základní informace o současných postupech výroby sendvičových jader a o jejich charakteristických vlastnostech.
2. Získat základní informace o mechanických a fyzikálních vlastnostech nového typu produktu.
3. Navrhnout úpravy vedoucí ke zlepšení vybraných mechanických a fyzikálních vlastností nového produktu a otestovat účinnost navržených úprav.
4. Diskutovat reálnost záměru budoucích výrobců využít produkt jako sendvičové jádro.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Sendvičová jádra pro kompozity

Největší oblastí využívající sendvičové kompozity je automobilový průmysl. Nároky na sendvičová jádra v těchto kompozitech jsou zejména *objemnost, nízká hustota, dobré mechanické vlastnosti jako je zejména vysoká ohybová tuhost a schopnost tlumit rázy*.

Rozeznáváme 2 skupiny materiálů sendvičových jader pro kompozity - homogenní a strukturovaná jádra. Materiály homogenních jader, zvláště polyuretanová (PU) pěna, jsou široce využívány v automobilovém průmyslu. Mezi materiály strukturovaných jader patří papírová vlnkovitá lepenka, voštinové bloky vyráběné z papíru nebo termoplastické fólie nebo textilní jádra. *Textilní sendvičová jádra dosud nenašla díky svým nevyhovujícím mechanickým vlastnostem nebo vysoké ceně v automobilovém průmyslu uplatnění.* [8]



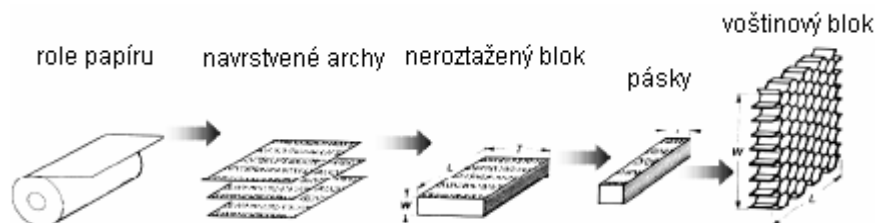
**Obr. 1:** Sendvičová jádra, a) dřevěné, b) pěnové, c) voštinový blok, d) vlnkovité, e) textilní

Polyuretanová pěnová jádra mají také velmi nízké mechanické vlastnosti ve srovnání s voštinovým blokem, ale kvůli nízkým výrobním nákladům jsou využívány například ve střešních panelech karoserie. Nedávno se z ekologických důvodů začala nahrazovat PU pěna polypropylenovou pěnou (PP). Nicméně PP pěna je dražší a má ještě horší mechanické vlastnosti než PU pěna. Ze strukturovaných typů materiálů sendvičových jader bylo využíváno vlnkovité jádro v lepence často jako nosič potahu stropu karoserie. Toto jádro s polyuretanovou impregnací zvyšuje tuhost a tlumící vlastnosti střech automobilů. [8]

#### 2.1.1. Voštinové bloky

Voština je materiál, který má šestiúhelníkovou strukturu připomínající včelí plást. Hlavní oblastí aplikací sendvičových materiálů s voštinovým jádrem je zatím letecký průmysl, ale tržní podíl dalších oblastí, jako je například automobilový a stavební průmysl se zvyšuje. V těchto aplikacích byly tyto materiály využívány méně často kvůli vysokým výrobním nákladům. Nejrozšířenější voštinová sendvičová jádra jsou pojená lepením.

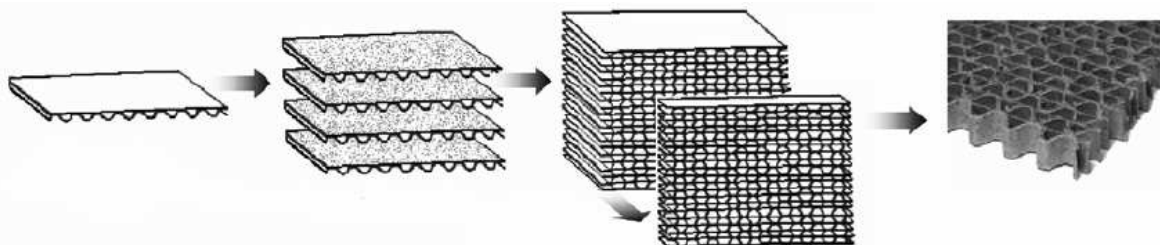
Na ploché archy papíru jsou nejprve tištěny lepicí pásy. Poté jsou archy navrstveny do stohů s následným zatvrzováním lepidla. Ve třetím kroku je tento stoh nařezán na plátky. Nakonec jsou tyto plátky roztaženy a vytváří šestiúhelníkovou strukturu připomínající plástev medu. [8]



**Obr. 2:** Postup výroby voštinových bloků lepením

Zbytkové pnutí v lepených papírových voštinových blocích musí být po roztažení uvolněno řízenou aplikací tepla a vlhkosti. Velikost buňky a výška jádra v těchto voštinových blocích z neimpregnovaného papíru je obvykle více než 10 mm.

Druhým tradičním postupem výroby voštinových bloků je výroba z vlnitého materiálu (papírové vlnkovité lepenky). Zde se na sebe skládají a slepují vlnité archy, které se poté řežou na tenké plátky. S těmito velkými vlnitými archy se hůře manipuluje a obtížněji se takto navrstvené bloky rozřezávají. Tímto postupem lze ovšem vyrábět z vlnitých archů voštinové bloky s malou velikostí buněk a větší hustotou. [8]



**Obr. 3:** Postup výroby voštinových bloků z vlnkovitých archů

### 2.1.2. Skládání voštinové bloky

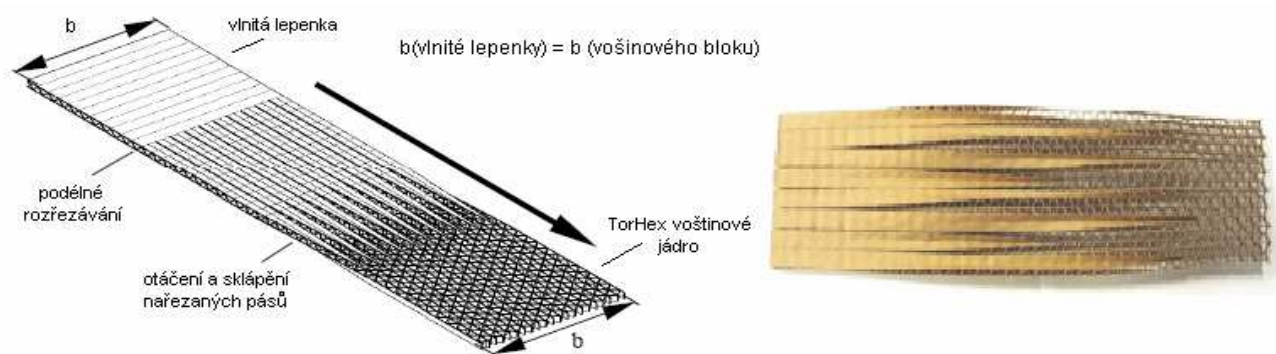
Na Katholieke Universiteit Leuven v Belgii byly vyvinuty 3 typy voštinových sendvičových jader (FoldHex, ThermHex, TorHex) vyráběné kontinuálně skládáním.

#### 1) TorHex

TorHex je vlnitý voštinový materiál vyráběný z nekonečného archu, operacemi následujícími v řadě za sebou. Zde se využívá vlnitá lepenka v maximálním rozsahu. Po výrobě jednotlivé žlábkové vlnité lepenky se skládá proces výroby TorHex voštinového bloku ze dvou kroků: nejprve se lepenka podélně rozřeže, poté se sklápí a otáčí.



Po procesu otáčení následuje laminace a povrchové spojení takto vytvořeného jádra termoplastickým povlakem s přírodními vlákny. Povrchovou pevnost tohoto produktu může zlepšit další polyolefinový film nebo polyvynilacetátové lepidlo. Výška těchto bloků může být i menší než 5 mm. [5]



**Obr. 4:** Postup výroby TorHex voštinových bloků

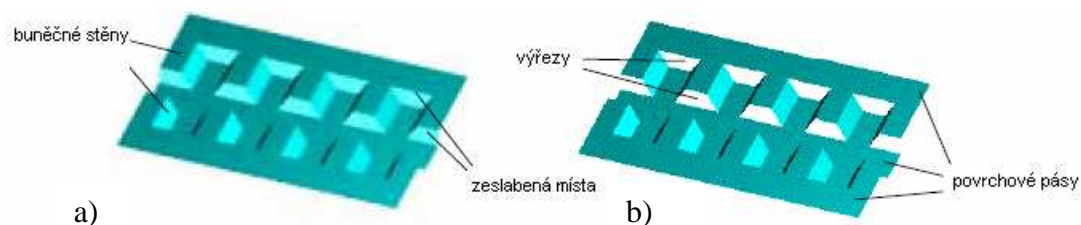
## 2) ThermHex

ThermHex sendvičové jádro má šestiúhelníkové buňky uzavřené povrchovými pásy, které umožňují snadné spojení jádra s povrchovými vrstvami bez dalšího přídavného materiálu. Základním materiálem pro výrobu je termoplastická fólie z polypropylenu, polyethylenu, polyetherimidu a jiných materiálů. Tento voštinový blok se vyrábí z nekonečné termoplastické fólie tzv. rotačním tvarovacím procesem. Proces výroby se skládá ze čtyř operací:

- Formování půl-šestiúhelníkového tvaru
- Sklápění polotovaru a vytvoření voštinového bloku
- Vnitřní slepení voštinového bloku
- Laminace voštinového bloku termoplastickými povrchovými vrstvami.

### a) Formování půl-šestiúhelníkového tvaru

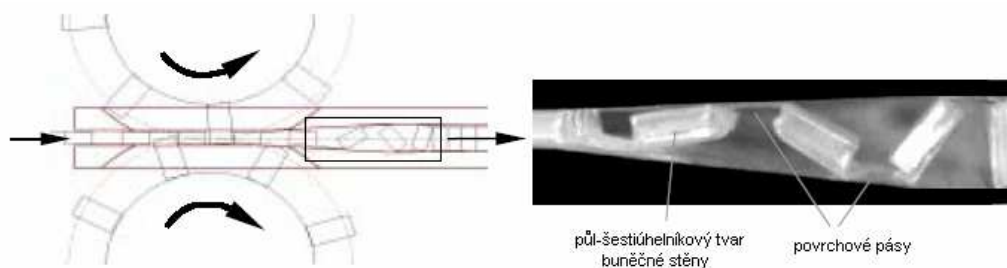
Formování půl-šestiúhelníkového tvaru může být provedeno hlubokým tažením nebo vakuovým lisováním. Proces hlubokého tažení se provádí zahřátou matricí, která vyrazí do fólie tvar. Okraje tohoto profilu bývají ostřejší než při vakuovém lisování. Odpovídající matricí jsou mezi buněčnými stěnami a povrchovými pásy realizovány řezy, které usnadňují sklápění listu v následujícím výrobním kroku. Při vakuovém lisování se folie v těchto místech pouze zeslabí. Obrázek 5 ukazuje rozdíl mezi profilem vytvořeným vakuovým lisováním (vrstva je plně vzduchotěsná) a hlubokým tažením (řezy jsou vytvořeny během tvarování). [6]



**Obr. 5:** Profil vytvořený: a) vakuovým lisováním, b) hlubokým tažením

b) Sklápění polotovaru a vytvoření voštinového bloku

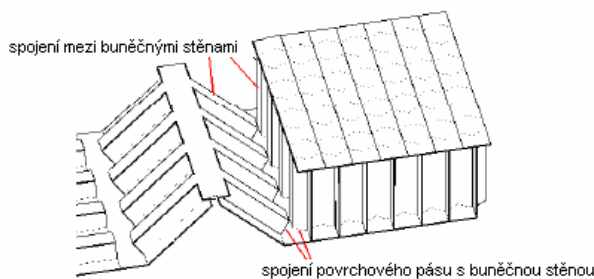
Půl-šestiúhelníkový list je zohýbán rotačními kotouči v rýhách, ve kterých je materiál zeslaben. Během operace skládání nastane pokles otáček vlivem zkrácení materiálu. Je nutné zajistit přesně definovaný a konstantní tlak skládání. [6]



**Obr. 6:** Rotační tvarovací proces

c) Vnitřní spojení voštinového bloku

Vznikají zde dva typy vnitřního spojení struktury. Je to spojení vodorovných povrchových pásů se svislými stěnami a spojení mezi buněčnými stěnami. Spojení mezi buněčnými stěnami nemusí být vždy realizováno, ale jádro má výrazně nižší tuhost pokud zde toto spojení není. Spojení se provádí tepelným natavením bez použití jiného pojiva, nebo s použitím nízkotavného termoplastického potahu. Tento potah se nataví, zatímco vnitřní vrstva zůstává neporušená, pod bodem tání. Aplikováním tlaku na strukturu potom dosáhneme spojení buněčných stěn. [6]



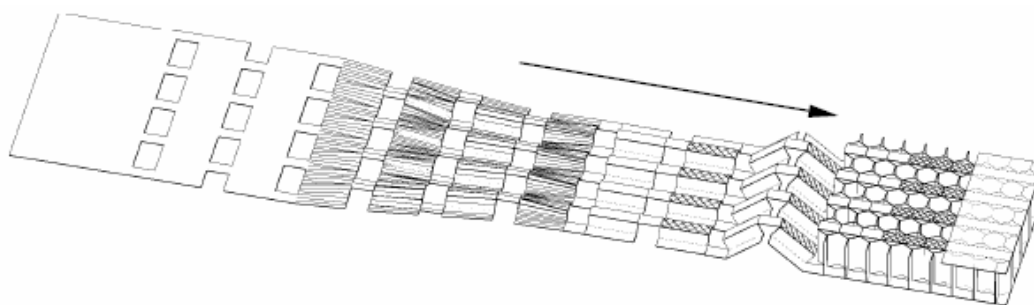
**Obr. 7:** Místa spojení ThermHex bloku

#### d) Laminace jádra

Laminace se provádí tepelným svařováním. Termoplastická vrstva, která je obvykle ze stejného materiálu jako jádro, se nataví a přitiskne k jádru na obou stranách současně. Poté je sendvič dostatečně ochlazen, aby se předešlo jeho zkroucení. Často bývá tato termoplastická vrstva vyztužena skleněnými vlákny. [6]

#### 3) *FlodHex*

Voštinové bloky FlodHex jsou vyráběny velmi podobně jako ThermHex. Vyrábějí se ale z papíru, a ne termoplastického materiálu. Nejprve se do nekonečného papírového archu vyseknou otvory. Poté se arch skládá do půl-šestiúhelníkového tvaru. Následuje sklápění a slepení. Laminace se provádí nalepením papíru nebo papírové vlnkovité lepenky. Výrobní princip FlodHex je zobrazen na obrázku 8. [7]






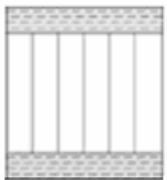
**Obr. 8:** *Výroba FlodHex voštinového bloku*

### 2.1.3. Vlastnosti sendvičových materiálů s voštinovým jádrem

*Hlavní výhody sendvičových desek s jádrem z lehčených voštinových bloků jsou nízká hustota, a tedy i hmotnost a vysoká pevnost v poměru k hustotě.*

#### 1) *Ohybové vlastnosti*

Sendvičový materiál s jádrem z voštinového bloku určený pro nábytkářský průmysl byl testován na ohyb. Testovaný papírový voštinový sendvič byl vyroben z voštinového jádra a dvou povrchových vrstev z tenkých dřevotřískových desek o tloušťce 8 mm. Jádro bylo vyrobeno tradičním postupem, roztažením z recyklovatelného neimpregnovaného papíru (hmotnost 210 g/m<sup>2</sup>, velikost buňky 30x30 mm, tloušťka 36 mm). Spojení jádra s krycími vrstvami bylo provedeno močovino-formaldehydovým lepidlem. Tento materiál byl testován na ohybovou tuhost a rázovou houževnatost a porovnáván s dřevotřískovými deskami o tloušťkách 16, 8 a 2x8 mm. Z měření byly vypočítány moduly pevnosti v ohybu a moduly pružnosti. Výsledky testů jsou v tabulce 1. [7]

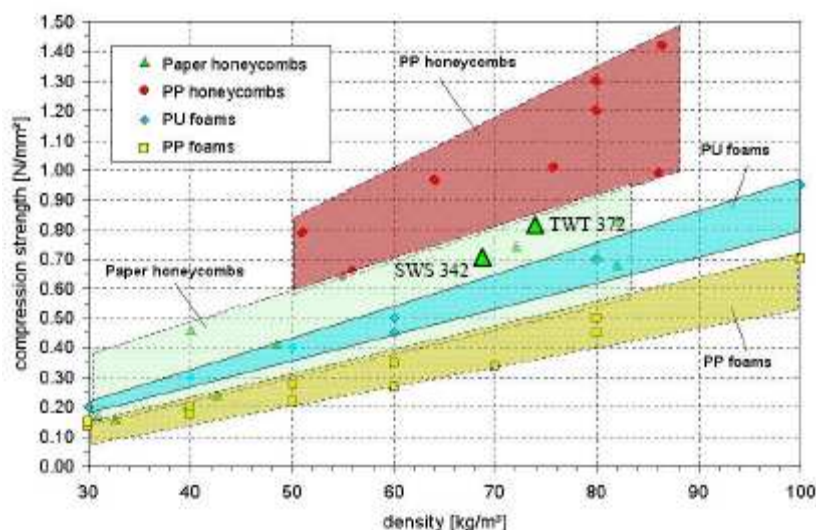
Materiál				
	Dřevotřísková deska 8 mm	Dřevotřísková deska 2 x 8 mm	Dřevotřísková deska 16 mm	Voštinový blok 8+36+8 mm
Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	0,766	0,766	0,658	0,321
Modul pevnosti v ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]	15,27	14,62	14,62	0,92
Modul pružnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	2741	2680	2730	505
Rázová ohybová tuhost [kJ/mm <sup>2</sup> ]	1,2	2,66	2,3	4,79

**Tab. 1:** Naměřené hodnoty ohybových vlastností

Výsledky testu ukazují, že ohybová tuhost materiálu s voštinovým jádrem je v porovnání s ostatními měřenými materiály výrazně nižší, naopak rázová houževnatost je vyšší. [7]

## 2) Kompresní vlastnosti

Na obrázku 9 je závislost pevnosti v tlaku na hustotě u voštinových bloků z papíru a polypropylenu v porovnání s bloky z PUR a POP pěny. [5]

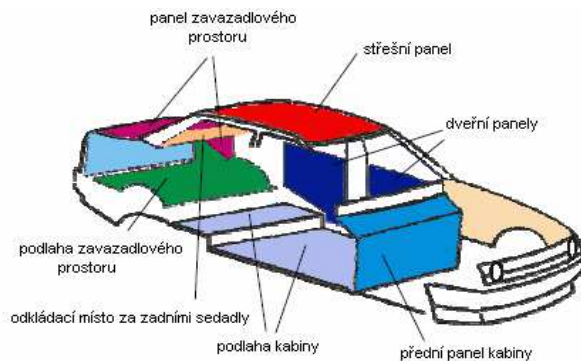


**Obr. 9:** Pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě u různých materiálů

Z grafu je vidět, že voštinové bloky mají vyšší pevnosti v tlaku než PUR a POP pěny. U pěn může navíc při vzrůstající teplotě pevnost v tlaku ještě klesat. U voštinových bloků závisí pevnost tlaku na rozměrech buňky, tloušťce stěny buňky a na materiálu, ze kterého je jádro vyrobeno. [5]

### 2.1.4. Aplikace sendvičových materiálů v automobilovém průmyslu

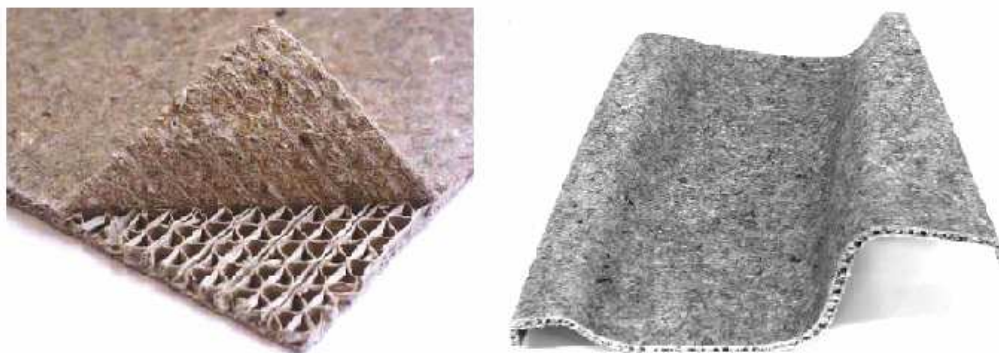
Sendvičové materiály jsou dnes široce využívány v nábytkářském průmyslu, v obalové technice, a zejména pak v leteckém a automobilovém průmyslu. Obrázek 10 ukazuje pohled na aplikace sendvičových materiálů v interiéru automobilu. [6]



**Obr. 10:** Aplikace sendvičových materiálů v automobilu

Nové požadavky na tyto materiály jsou: *schopnost tvořit bariéru proti vlhkosti a prachu, zvýšená zvuková pohltivost, nízké výrobní náklady (možnost kontinuální výroby), snadná recyklovatelnost, nízká hmotnost.*

Sendvičová jádra v automobilových aplikacích jsou vyráběna ve výškách 7-12 mm a kombinují se nejčastěji s povrchovými vrstvami z termoplastického materiálu, vyztuženého vláknem (sklo, len, konopí). Po laminaci se sendvičový materiál předehtřívá při 200 °C po dobu jedné minuty, a poté se formuje do požadovaného tvaru. V místech zahnutí s malými radiusy může docházet k rozdrčení jádra. [6]



**Obr. 11:** Sendvičový panel s voštinovým blokem a krycími vrstvami z polypropylenu a přírodních vláken

## 2.2. Distanční pleteniny

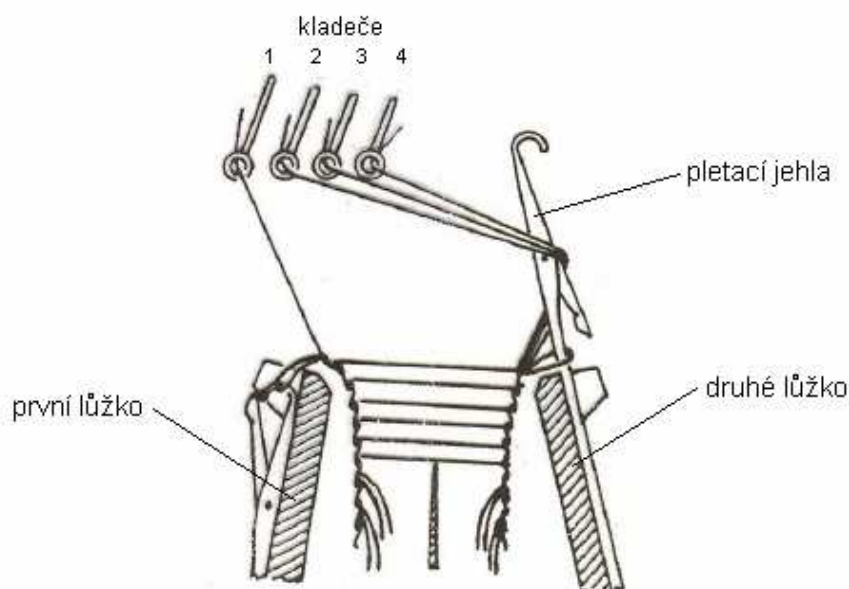
Distanční pleteniny řadíme do skupiny osnovních oboulícních pletenin, resp. vazeb. Tento druh pletenin se vyrábí na speciálních dvoulůžkových rašlových strojích. Nejvýznamnějšími výrobci strojů jsou dva němečtí výrobci – KARL MAYER a LIBA. Nejvýznamnější výrobce distančních pletenin u nás je firma Tylex Letovice a.s..

### 2.2.1. Rašlové stroje na výrobu distančních pletenin

Výroba distančních pletenin je podobná výrobě tzv. řezaného plyše. Ten se plete na dvoulůžkovém rašlu tak, že se na každém lůžku tvoří jednolící osnovní pleteniny, které jsou navzájem spojeny plyšovými nitěmi. Po upletení se úplet rozřízne a vzniknou dvě samostatné jednolící pleteniny s povrchem rozříznutých konců plyšových nití. V případě distančních pletenin nedochází k rozříznutí.

*Distanční pletenina je tedy tvořena dvěma jednolícími pleteninami, které jsou navzájem spojeny výplňkovou nití (monofilem). K tvorbě této pleteniny je tedy potřeba minimálně tří kladečů, s použitím kladení pouze pod jehly nebo při dvojitém základu, je to 5 kladečů. Z toho dva krajní kladeče na obou stranách kladou základní pleteninu, prostřední kladeč kladou výplňkovou vazbu na obě lůžka.*

Postup výroby distanční pleteniny je na obr. č.12.



**Obr. 12:** Výroba distanční pleteniny

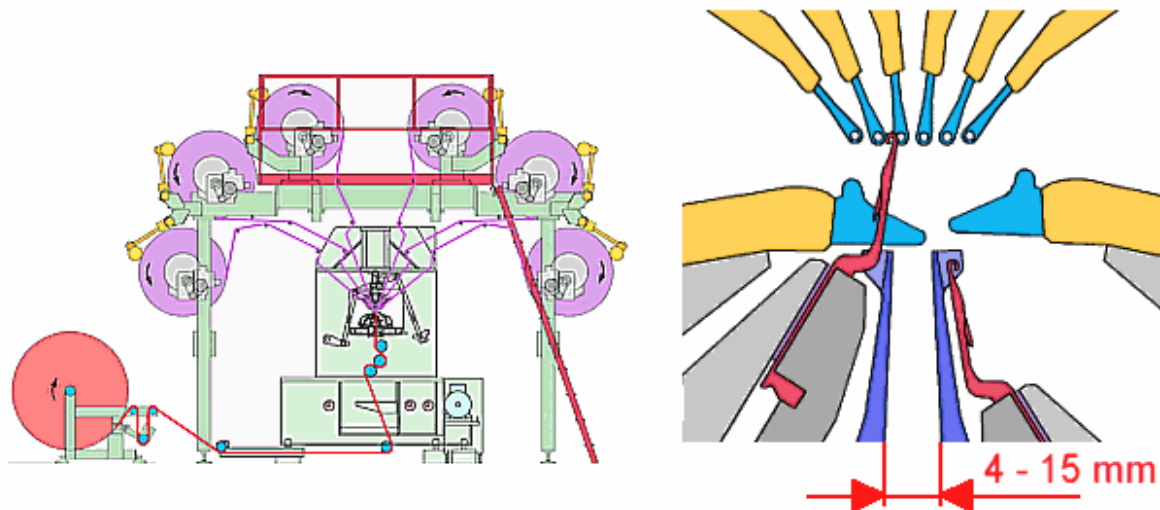
Plně navlečený kladeč (1) kladou na první lůžko a plně navlečený kladeč (4) kladou na druhé lůžko. Kladeče (2 a 3) jsou navlečeny tak, aby vytvořily společně plný návlek a kladou na obě jehelní lůžka. Tím je vytvořena sendvičová struktura. [17]

Na obrázku č.13 je schématicky znázorněno pracovní ústrojí dvoulůžkového rašlu s háčkovými jehlami LIBA DG 506 – 15 pro výrobu distančních pletenin.



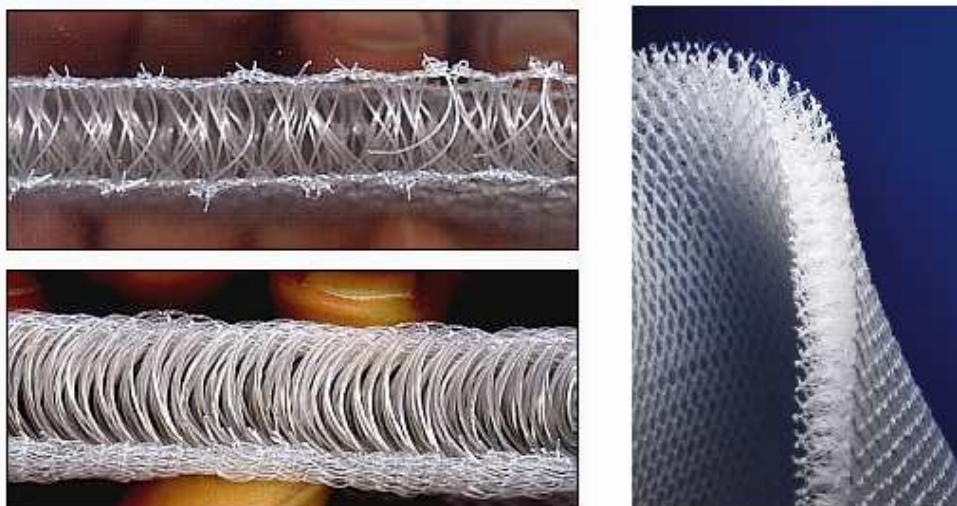
**Parametry stroje LIBA DG 506 – 15:**

- stroj má šest kladečů
- tloušťka textilie 3 – 15 mm,  
při použití speciální vazební  
techniky až 25 mm
- pracovní šíře 213 nebo 330 mm
- lze vytvářet 3D textilie ze skleněných  
vláken



**Obr. 13:** Dvoulůžkový rašl LIBA DG 506 – 15 [18]

Stroje na výrobu distančních pletenin mají různé modifikace a liší se většinou možnostmi vzorování, počtem kladečích přístrojů, pracovní šíří, dělením stroje a také rozsahem nastavení vzdálenosti lůžek.



**Obr. 14.:** Distanční pleteniny

### **2.2.2. Vlastnosti a výhody osnovních distančních pletenin**

Distanční osnovní pleteniny mají některé výhody oproti jiným typům distančních produktů (např. PU pěny). Ceněny jsou tyto vlastnosti:

- prodyšnost
- vysoká pružnost a schopnost zotavení při namáhání tlakem a ohybem
- tvarovatelnost bez ztráty rozměrové 3D stability
- měkkost a příjemný omak
- ekologičnost (oproti PU pěně)
- snadná čistitelnost [19]

Další výhody vyplývají z použití osnovních pletacích strojů:

- vysoká výkonnost a pracovní rychlost osnovních strojů (i přes tvorbu oboulícího řádku) oproti zátažným pletacím strojům
- schopnost měnit vzdálenost mezi lůžky, a tím ovlivňovat tloušťku pleteniny
- výroba vysoce objemné textilie v jedné operaci
- velké vzorovací možnosti [17]

### **2.2.3. Použití distančních pletenin**

Distanční pleteniny mají široké využití a používají se v těchto oblastech:

- obuvnický průmysl – látky, stélky obuvi, výplně kožené i syntetické obuvi
- sportovní oblečení – ochranné výztuže oblečení (chrániče)
- technické textilie – kompozity, geotextilie absorpční materiály, filtry pro kapaliny
- automobilový průmysl – čalounění sedadel, polštářování, textilní panely (ve dveřích a stropě)
- textilie využívané ve zdravotnictví – bandáže, obvazy, polštáře pojízdných křesel, matrace a polštáře proti proleženinám
- náhrada PU pěny – v obuvnickém průmyslu, dámské prádlo (košíčky podprsenek), loketní a kolenní chrániče, ochranné přilby
- další aplikace – kryty reproduktorů, ochranné výztuže u pracovního oblečení, vycpávky batohů, aj. [19]



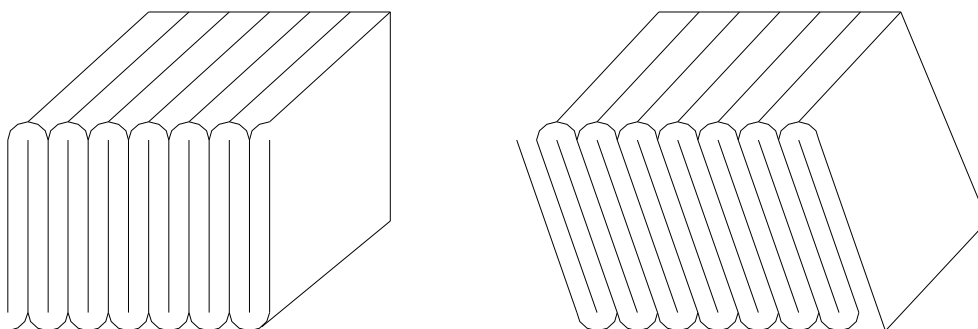
### 2.3. Kolmo kladené netkané textilie

Myšlenka vytvářet netkané textilie „postupným vertikálním skládáním krátkých úseků 2D textilie (pavučiny)“, s bezprostředně následující fixací jejich polohy, čímž vznikne 3D textilie (objemná textilie) je stará asi 15 let. Výrobky tohoto typu se uplatňují při výrobě matrací, tepelně izolačních výplní i filtrů a lze očekávat i další rozvoj aplikací. [1]

K těmto účelům sloužily doposud různé druhy netkaných textilií, k jejichž výrobě se používá rovina získaného buď mechanickým vrstvením jednotlivých pavučin, nebo nahodilým ukládáním aerodynamicky. Soudržnosti se dosahuje většinou pojením termoplastickými vlákny a v některých případech i vpichováním na jehlovém vpichovacím stroji. Vpichováním se určitý podíl vláken přeorientuje do vertikálního směru, avšak současně se vrstva rovina zhutní tak, že se podstatně sníží tloušťka, a tím i tepelně izolační schopnost útvaru.

Je známé, že objemnost zůstane zachována, je-li vlákenná vrstva vytvořená z pavučiny skládaná v obloučcích, kdy převažuje podíl vláken orientovaných do směru kolmého k rovině vrstvy. [2]

Model řezu textilií vytvořené z vln pavučiny, lze zobrazit např. podle obr.15.



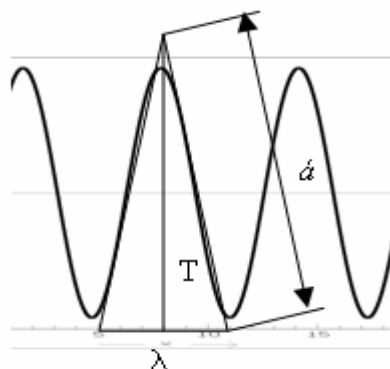
**Obr. 15:** Řez kolmo kladenou textilií

Protože se při tvorbě vlny pracuje s poměrně krátkými úseky pavučiny, lze s nimi snadněji manipulovat, než s velkými úseky pavučiny při jejím horizontálním ukládání. Lze tak mnohem snadněji vhodným řízením stroje měnit parametry výrobku. [1]

#### **Struktura 3D textilií**

Za „makroelement struktury“ textilie je považována jedna vlna pavučiny. V obr. 16 je vlna pavučiny nahrazena sinusovkou a pro zjednodušení geometrického popisu je tato vlna nahrazena odvěsnami trojúhelníka, každá o délce  $a'$ , výška trojúhelníka je shodná s výškou výrobku  $H$ . Vlnová délka  $\lambda$  zobrazuje vzdálenost jednotlivých skladů od sebe.

Způsob řízení parametrů vlny pavučiny v průběhu výroby závisí na principu stroje, který pavučinu skládá. [1]



**Obr. 16:** Geometrie struktury produktu

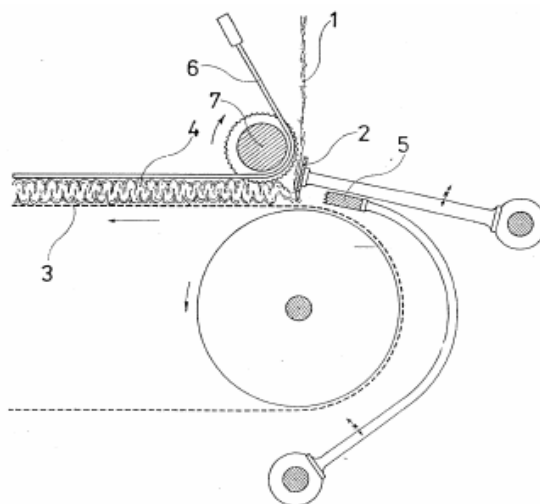
### 2.3.1. Výroba 3D textilií

2D textilie, ze kterých jsou tyto objemné textilie vytvářeny, jsou většinou pavučina nebo vpichovaná textilie. [1] V některých případech to může být i rouno, pramen nebo pletenina. [2]

K vytvoření vlny z 2D textilie ve struktuře textilie jsou používány dvě techniky. Strojní systémy bývají označovány jako „vibrační“ a „rotační“. [1]

#### 1) Vibrační kolmý kladeč pavučiny

U tzv. vibračního kolmého kladeče pavučiny (obr.17) je shora přiváděná pavučina (1) strhávána vibrující pilkou (2) k pohybujícímu se dopravníku (3). Tím se tvoří sklad pavučiny, který je z hrany pilky sejmut soustavou hladkých jehel, umístěných na vibrující pěchovací liště (5). Sejmutý sklad je pěchovací lištou doražen k vlákněné vrstvě (4) tvořící se a postupující mezi dopravníkem a drátovým roštem (6). [3]



**Obr. 17:** Vibrační kolmý kladeč pavučiny

- |                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| 1. pavučina z mykacího stroje    | 5. pěchovací lišta |
| 2. kladecí pilka                 | 6. drátový rošt    |
| 3. odváděcí dopravník            | 7. tvořící válec   |
| 4. kolmo kladená vlákněná vrstva |                    |

Vzájemné sladění všech zmíněných prvků umožňuje vytvářet rozdílné struktury, o kterých lze tvrdit, že jejich společným znakem je kolmé uspořádání vln pavučiny. Vlastnosti výrobků závisí, vedle suroviny, na „deformaci tvaru vlny“ a na kvalitě fixace jejich polohy.

Počet vln v 1 m délky výrobku je dán vztahem:

$$\rho = \frac{n}{v_2} \quad (1)$$

kde  $\rho$  je počet vln,  $n$  je počet kmitů pilky i lišty a  $v_2$  je výstupní rychlost rouna.

Počet kmitů pilky i lišty při dané výšce výrobku ze určit ze vztahu:

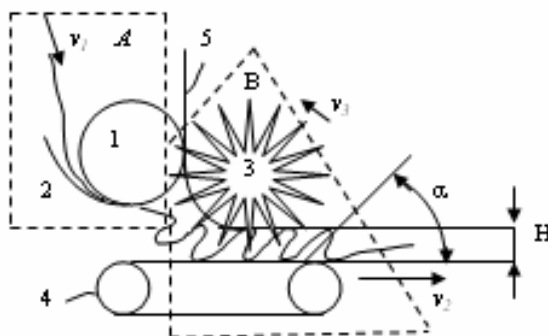
$$n = \frac{v_1}{2H}, \quad (2)$$

kde  $n$  je počet kmitů pilky i lišty,  $H$  je výška výrobku a  $v_1$  je vstupní rychlost pavučiny, která bývá většinou konstantní (maximum výstupní rychlosti pavučiny z mykacího stroje). [1]

Zařízení je většinou doplněno teplovzdušnou pojící komorou, kde dochází k roztavení podílu termoplastických pojících vláken a jejich přeměnou v pojivo. Tím se vytvořená vlákenná vrstva zafixuje.

### 1) Rotační kolmý kladeč pavučiny

Druhým zařízením pro kolmé kladení je tzv. rotační kolmý kladeč (obr.18) Vlákněná pavučina je přiváděna k soustavě pracovních kotoučů (3), jejichž hroty je formována do vlákenné vrstvy tvořené kolmými sklady. Sklady jsou snímány z hrotů soustavou drátů roštu (5), umístěných mezi jednotlivými pracovními kotouči (3). [3]



**Obr. 18:** Schéma rotačního kolmého kladeče pavučiny

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. podávací kotouč                  | $v_1$ vstupní rychlost pavučiny |
| 2. pánev,                           | $v_2$ výstupní rychlost rouna   |
| 3. ozubený pracovní kotouč,         | $v_3$ obvodová rychlost         |
| 4. dopravník                        | $H$ výška rouna                 |
| 5. vodící hřeben pracovního kotouče | $\alpha$ sklon vlny             |

Výrobní rychlosti stroje jsou prakticky neomezeny, stroj umožňuje plné využití mykacích linek. Výšku výrobku  $H$  lze regulovat změnou otáček pracovního ozubeného kotouče, vlnčet  $\rho$ , resp. plošnou hmotnost výrobku, lze regulovat změnou výstupní rychlosti  $v_2$  dopravníku.[1]

### ***Vzhled textilií***

Obecně platí, že výrobky z vibračního stroje, mají hladký povrch, bez hlubších rýh a vlny pavučiny jsou téměř kolmé k rovině textilie. Výrobky z rotačního stroje mají členitý (rýhovaný) povrch, vlny pavučiny mají větší odklon od vertikály než výrobky z vibračního stroje. [1]

### **2.3.2. Možnosti fixace struktury**

Existují dva základní postupy používané k fixaci struktury vytvořené kolmým kladením. Možností fixace struktury je velmi mnoho, ale pouze některé mechanické nebo termické způsoby výrazně neovlivní tloušťku vyráběné 3D textilie. Mezi ně patří termická fixace a mechanická fixace povrchu.

#### ***Termická fixace***

Postup je založený na využití směsi základních a termopojivých vláken, které mohou být mono nebo bikomponentní. Termopojivá vlákna se pak aktivují průchodem tepelnou zónou. Kontakty vzniknou mezi základními vlákny roztavením pojivých vláken, nebo základními a bikomponentními, kde se nataví pouze pojivá složka na povrchu bikomponentních vláken. Následuje ochlazení, a tím se spoje zafixují.

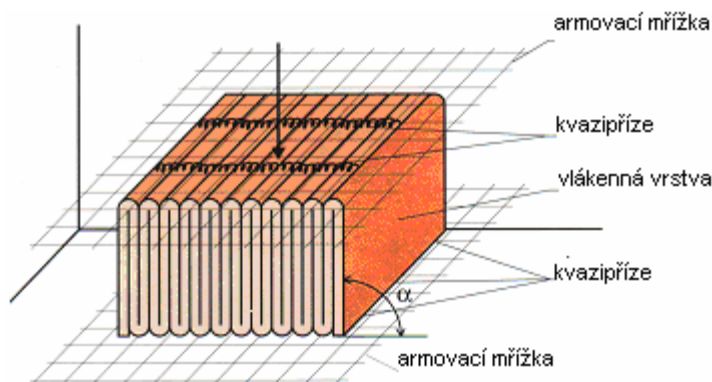
U vertikálně uspořádaných struktur fixovaných teplem, lze pozorovat rozdílné soudržnosti kontaktů mezi vlákny pavučiny, ze které je vytvořena vlna a kontaktů mezi vlnami. Soudržnost mezi vlnami je některých případech velmi slabá, v porovnání se soudržností pavučiny samé. K fixaci teplem se používá na trh běžně dodávaných horkovzdušných komor bez přídavných kalandrovacích válců, vytápěných elektricky nebo plynem. Za komorou musí následovat chlazení, případně kalibrace produktu.[1]

## **Mechanická fixace povrchu**

Pro fixaci struktury 3D textilií lze využít pouze některé způsoby mechanické fixace, a to ty, při kterých nedochází k výraznějšímu snižování tloušťky. Tyto způsoby fixují textílii pouze na jejím povrchu.

### **1) ROTIS**

Tato technologie byla vyvinuta speciálně pro výrobky u kterých vlákna prochází celým průřezem textilie (vertikálně). Tento požadavek splňují právě výše zmiňované struktury vytvářené z vln pavučiny. K pojení dochází zpevňováním jednoho nebo obou povrchů sadou rotujících, zakrucovacích elementů. Princip využívá faktu, že vlákna vlny pavučiny „propojují oba povrchy rouna“ a faktu, že pohybem rotujícího tělesa po povrchu rouna vzniká tzv. „kvazi-příze“, která vlny pavučiny vzájemně spojí pouze na jejich vrcholech. Vzájemným spojením těchto lamel zmíněnými kvazi-přízemi vznikne struktura zobrazená na obr. 19.



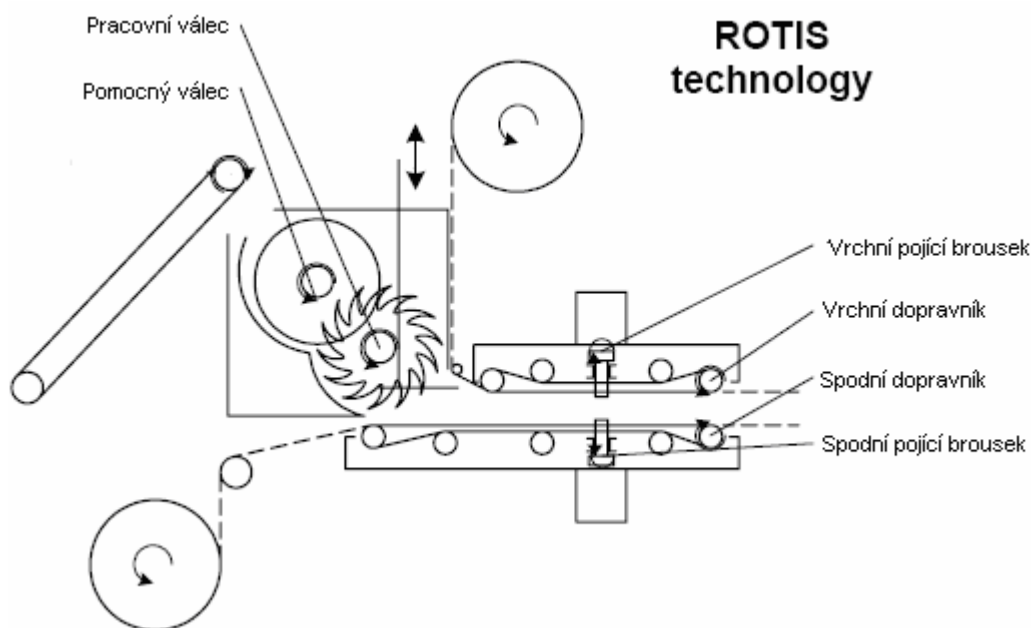
**Obr. 19:** Model struktury zpevněné kvazi-přízemi

Tímto způsobem je možno pojit materiál z libovolných vláken bez jakéhokoli pojiva nebo přídavných nití. Ke zvýšení pevnosti vzájemného spojení vln pavučiny se s výhodou využívá armovacích sítí, které se připevňují kvazi-přízemi během průchodu strojem na jednu nebo obě strany textilie.



**Obr. 20:** Fotografie struktury pojené kvazi-přízemi

Technologie, zařízení i výrobky byly pojmenovány „ROTIS“. Na obrázku 21. je znázorněna technologie „ROTIS“ založená na výrobě textilie pomocí rotačního kolmého kladeče ve spojení s fixační jednotkou, zpevňující rouno kvazi-přízemi. [1]



**Obr. 21:** Technologie ROTIS

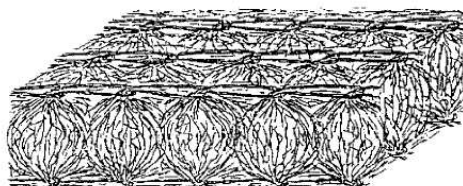
## 2) Povrchová fixace proplétáním - technologie „KUNIT“ a „MULTIKNIT“

Z mykaného rouna jsou ve formě smyček pomocí háčkové jehly vytahovány svazky vláken, které jsou přeorientovány kolmo k povrchu textilie v požadované výšce. Fixace vznikne podélným proplétáním povrchu takto vytvořené 3D textilie z jedné strany pomocí pletací jehly bez přídatné nitě. Tato technologie se nazývá „Kunit“ a vzniká při ní 3D textilie s kolmo orientovanými vlákny, která je z jedné strany hladká a z druhé obloučkovitá. Princip technologie „Multiknit“ spočívá v proplétání 3D textilie vytvořené technologií „Kunit“ i z druhé strany. Vzniká zde 3D textilie hladká z obou stran. Obě technologie lze zařadit spojitě za sebe. [14]

Tato technologie byla vyvinuta německou firmou Karl Mayer, zabývající se výrobou pletacích strojů.

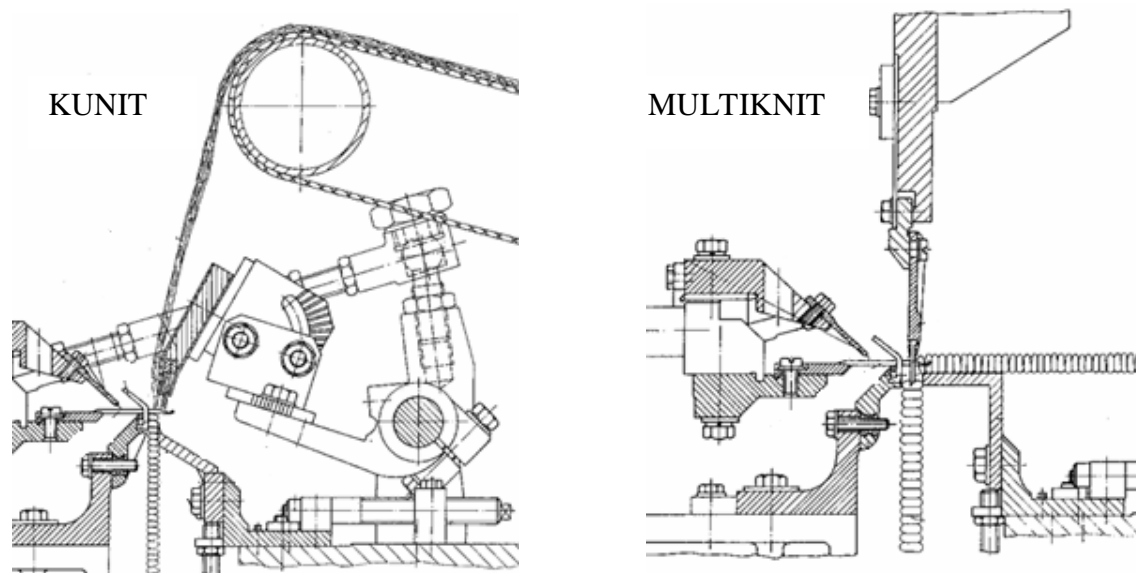


KUNIT



MULTIKNIT

**Obr. 22:** Struktura „KUNIT“ a „MULTIKNIT“



**Obr. 23:** Technologie „KUNIT“ a „MULTIKNIT“

### **Kombinovaná fixace**

Po mechanické fixaci povrchu následuje fixace termická. Každá z výše uvedených způsobů fixace propůjčuje výrobku specifické vlastnosti. Výrobek fixovaný termicky bývá obvykle „tužší“ (vyšší modul), než výrobek fixovaný mechanicky, pouze na površích výrobku. Kombinace obou postupů předpokládá aplikaci pojivých vláken do rouna a přináší především větší variabilitu vlastností produktů. [1]

### **2.3.3. Vlastnosti a aplikace 3D textilií**

Od každého typu textilií jsou vyžadovány určité hodnoty „charakteristických vlastností“, které vyplývají z jejich aplikací. Pro matrace jsou to především kompresní vlastnosti, jako např. kompresní odpor, redistribuce tlaku mezi tělesem a matrací, pro zvukové izolace je to pohltivost zvuku  $\alpha$ , pro izolace tepelné je to tepelná vodivost  $\lambda$  [ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ]. Pro sendvičové jádro jsou to spolu s vlastnostmi uvedenými v kapitole 1.1.3. také akustické a tepelně izolační vlastnosti. [1]

**1) Kompresní vlastnosti:** Jedním ze základních údajů je tzv. kompresní odpor [Pa, N], který je definovaný jako odpor proti stlačení textilie na určitou deformaci. Pro speciální účely použití, např. u speciálních podložek používaných ve zdravotnictví, se zjišťuje rozložení kontaktního tlaku mezi osobou a podložkou. Měření popisující tzv. redistribuci tlaku podložkou se provádí speciálními přístroji. [1]

**2) Zvuková izolace:** Základním technickým údajem o vhodnosti textilie pro její použití pro zvukové izolace je koeficient pohltivosti zvuku  $\alpha$  pro různé zvukové frekvence. Koeficient  $\alpha$  je pouze jedna z mnoha veličin, ale lze ho měřit laboratorně v tzv. Kundtově

trubici. Pro účely automobilového průmyslu je zvuk měřen přímo v kabině automobilu. Pohltivost zvuku ovlivňuje vedle struktury textilie také použitá vlákenná surovina. Zlepšení pohltivosti pro nízké frekvence se dosahuje laminováním textilních vrstev s jinými, vhodnými vrstvami. [1]

3) **Tepelná izolace:** Úkolem tepelných izolací je bránit prostupu tepla, resp. chladu, mezi prostředími. Základy konstrukce tepelných izolací jsou postaveny na teorii přenosu tepla. Přenos tepla překážkou je realizován vedením, prouděním a zářením. Přenos tepla vedením charakterizuje tepelná vodivost  $\lambda$ . Čím nižší  $\lambda$ , tím lepší izolace. Výhodou výše popsaných technologií je možnost vkládat do celého průřezu výrobku materiály odrážející záření a tak zvýšit disipaci energie uvnitř izolace. Je to jedna z cest jak zvyšovat celkovou účinnost izolace. [1]

## **2.4. Produkt vyrobený podle PV 2007-293**

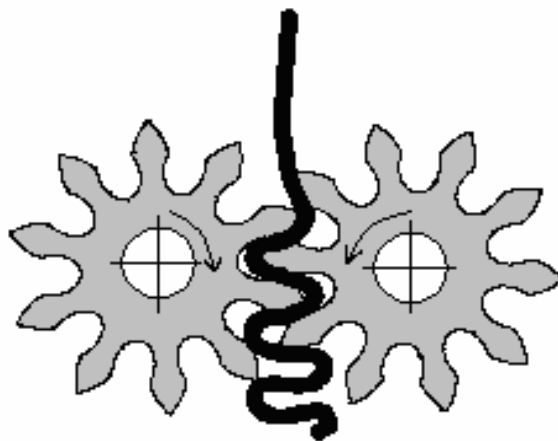
Na katedře netkaných textilií v Liberci bylo v letech 2006/2007 vyvinuto nové zařízení pro vytváření textilie definované tloušťky skládáním plošné textilie do skladů pomocí dvou pracovních kotoučů a následným mechanickým zpevněním kvazi-přízemi.

### **2.4.1. Princip výroby produktu PV 2007-293**

Výchozí materiál pro výrobu této objemné textilie je plošná textilie (2D), která je vyrobená klasickými způsoby, např. vpichováním, nebo 2D textilie vyrobené například technologiemi „Spun-lace“ nebo „Jet-lace“.

Výchozí 2D textilie je podávacím ústrojím přiváděna mezi dvě soustavy ozubených tvarovacích kotoučů, umístěných na rovnoběžných hřídelích. Mezi pracovními výstupky (zuby), které do sebe zapadají, je textilie formována do vertikálních skladů. Výška skladů je dána velikostí zubů a vzdáleností hřídelů od sebe. Narozdíl od původní metody (viz obr.18) výroby kolmo kladených 3D textilií, jsou zde sklady přesně formovány ozubeným soukolím (viz obr. 24). Mezi jednotlivými pracovními kotouči procházejí dopravníky, které zabezpečují odvod složené textilie. Poté následuje mechanická fixace, dvěma naproti sobě umístěnými soustavami rotujících elementů, které spojují vrcholky jednotlivých vln kvazi-přízemi a zpevňují tak povrch skládané textilie.





**Obr. 24:** *Mechanismus tvorby skladu*

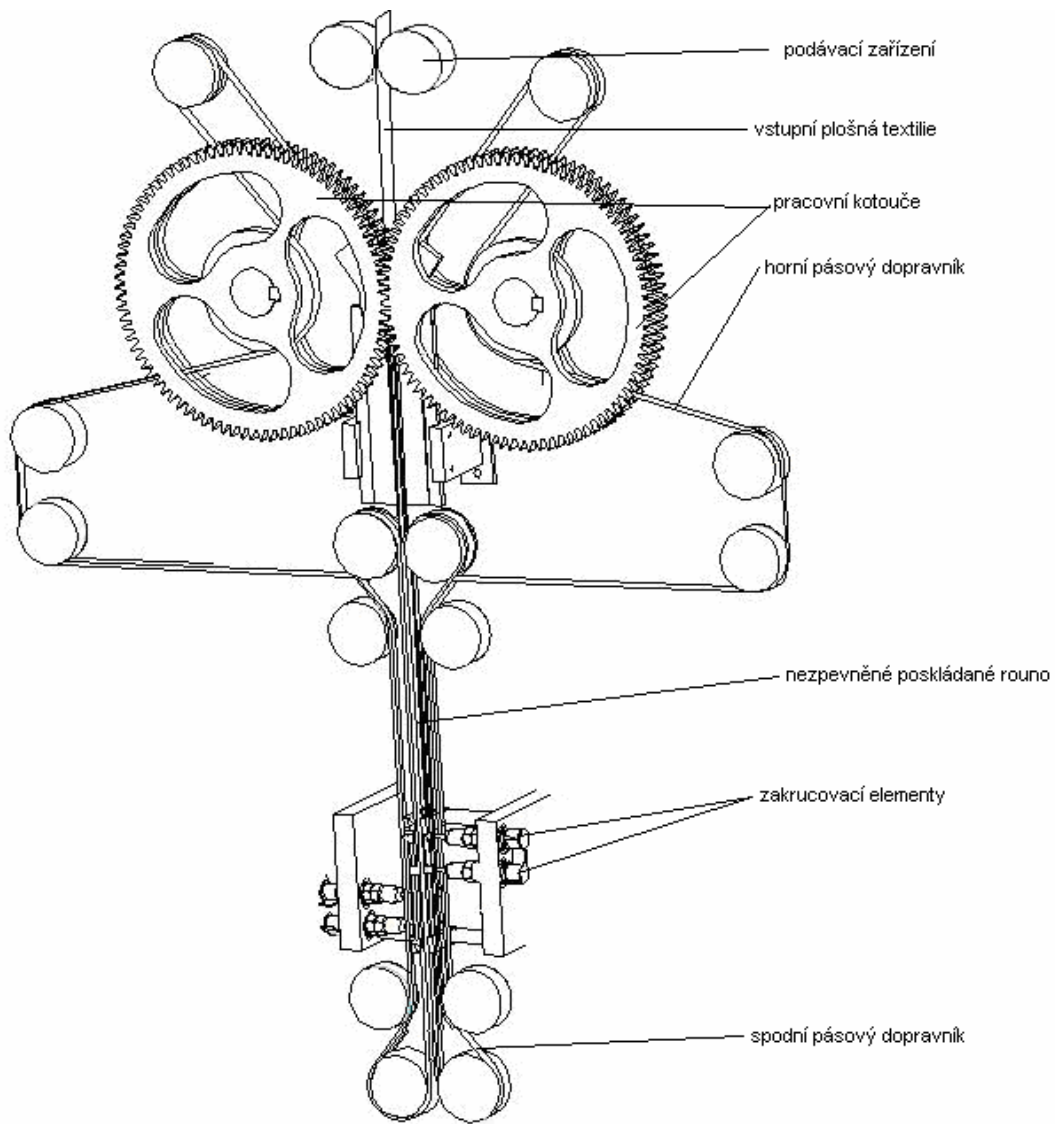
#### **2.4.2. Mechanismus pro výrobu produktu PV 2007-293**

Pro formování rouna je využito čelní soukolí s přímým ozubením. V našem případě nového zařízení na výrobu vlákenné vrstvy definované tloušťky je počet zubů na ozubených kolech stejný. Počet soukolí, umístěných v řadě za sebou závisí na výrobní šíři textilie.

Mezi jednotlivými soukolími jsou umístěny horní pásové dopravníky, které mají za úkol přivést skládanou 3D textilií do kontaktu s první skupinou zakrucovacích elementů fixační jednotky (viz. 1.3.2.). Na ně navazují dolní pásové dopravníky, které zabezpečují průchod textilie mezi druhou skupinou zakrucovacích elementů a zvyšují tím počet kvazi-přízí na ploše textilie.

Zakrucující elementy, kolmé k rovině rouna jsou umístěny v řadách naproti sobě. Počet řad zakrucovacích elementů na každé straně se může lišit.

Zmíněné prvky mechanismu jsou na obr.25.



**Obr. 25:** Mechanismus pro výrobu produktu PV 2007-293

### 2.4.3. Vztahy mezi technologickými parametry a parametry produktu

K odvození zjednodušených vztahů slouží obr.16 a 26.

A.) Technologické parametry:

$v_1$  = vstupní rychlost polotovaru [ $\text{m.s}^{-1}$ ]; (dána předcházejícím zařízením)

$v_2$  = odtahová rychlost polotovaru [ $\text{m.s}^{-1}$ ]; (dána otáčkami tvarovacích kol)

$v_3$  = výstupní rychlost produktu [ $\text{m.s}^{-1}$ ];

$p$  = rozteč zubů tvarovacích kol [mm];

$z$  = počet zubů tvarovacího kola;

$$n_7 = \text{otáčky tvarovacích kol [s}^{-1}\text{]};$$

$P$  = průnik zubů tvarovacích kol [mm];

$a$  = vzdálenost vrcholů dvou zubů na přímce [mm] (rozdíl od rozteče zubů  $p$ );

$l$  = délka spojnice (přímky) mezi vrcholy třech zubů [mm];

 $\Delta$  = výška kruhové úseče;

O = osová vzdálenost tvarovacích kol;

$r_a$  = poloměr hlavové kružnice tvarovacího kola;

 $\lambda =$  délka vlnovky [mm];

B.) Parametry produktu:

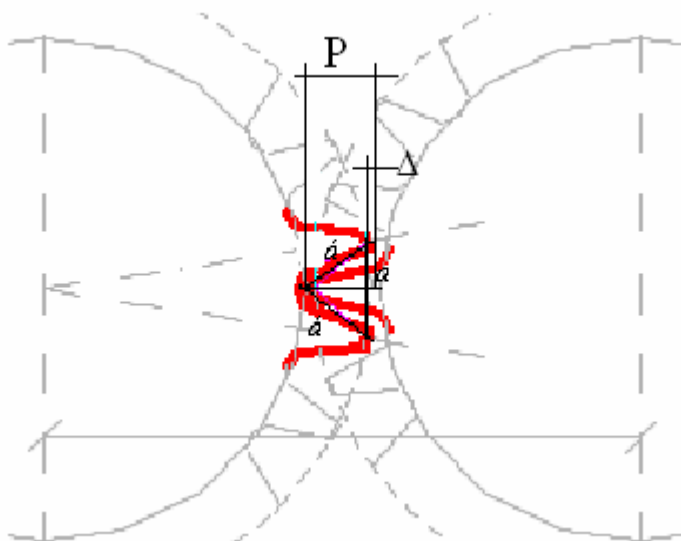
 $t = \text{tloušťka polotovaru [mm]}$ 

$T$  = tloušťka produktu [mm]

$g$  = plošná hmotnosť polotovaru [ $\text{g.m}^{-2}$ ];

$G$  = plošná hmotnost produktu  $[\text{g.m}^{-2}]$ ;

$k$  = zhuštění produktu

$$\rho = \text{vlnčet (počet vln na 1m polotovaru)} [\text{m}^{-1}], \quad [9]$$


Obr. 26: Geometrie skladu [9]

Z obr.26 plyne :

$$a' = \left(\frac{l}{2}\right); a'^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + (P - \Delta)^2 \quad (3)$$

$$a' = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + (P - \Delta)^2} \quad (4)$$

$$\Delta = r_a - \frac{1}{2} \sqrt{4^{*} r_a^2 - a^2} \quad (5) \quad [9]$$

Pro současnou konstrukci kola z výpočtu vyplývá, že  $\Delta = 0,444$  [mm]. Pro praktické výpočty ji proto lze zanedbat. [9]

Zjednodušující předpoklady:

- 1.)  $\Delta$  je zanedbatelně malé pro praktické výpočty
- 2.)  $l$  se příliš neliší, od délky křivky, kterou opisuje polotovar ve tvarovacím prostoru.

pak 
$$a' = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + P^2} \quad (6)$$

pro zhuštění produktu platí: 
$$k = \frac{G}{g} = \frac{v_2}{v_3} \quad (7)$$

počet vln na 1m produktu je 
$$\rho = \frac{zn_2}{v_3} \quad (8)$$

pak 
$$v_3 = \frac{v_2}{k} = \frac{zn_2}{\rho} \quad (9)$$

délka  $a'$  je z obr.16 
$$a' = \sqrt{T^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2} \quad (10) \quad [9]$$

z rovnic (6) a (10) lze pak určit  $P$ , pro zadanou tloušťku  $T$ , nebo určit  $T$  při nastaveném průniku tvarovacích kol  $P$ , vše při zadané hmotnosti polotovaru. Tloušťku polotovaru současný výpočet nebere v úvahu (bývá cca 0,1 až 0,5 mm).

$$P = \sqrt{T^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \quad (11) \quad \text{nebo} \quad T = \sqrt{P^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2} \quad (12) \quad [9]$$

lze odvodit že délka vlny v polotovaru je 
$$\lambda = \frac{2a'}{k} \quad (13)$$

Po dosazení délky vlny  $\lambda$  podle (13) do rovnic (11) a (12) lze určit  $T$  a  $P$  následovně:

$$T = \sqrt{\frac{P^2 k^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 k^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2}{k^2}} \quad (14) \quad \text{a} \quad P = \sqrt{\frac{-\left(\frac{a}{2}\right)^2 k^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 + T^2 k^2}{k^2 - 1}} \quad (15)$$

Hodnota  $a$  je dána konstrukcí tvarovacího kola, v případě modelu zařízení je 7mm (naměřeno) na rozdíl od rozteče zubů  $p$ , která je 7,818 mm (vypočteno) z parametrů kola. Ty

jsou následující: průměr hlavové kružnice  $D_h = 219$  mm, průměr patní kružnice  $D_p = 204$  mm, výška zubu  $h_z = 7,5$  mm, počet zubů  $z = 88$ . [9]

## **2.5. Úpravy produktu**

Obecného zlepšení mechanických vlastností, zejména pak zvýšení ohybové tuhosti 3D textilií, lze dosáhnout aplikováním různých úprav. Z chemických způsobů lze použít např. nanášení disperzí ve formě pěny, z termických pak nanášení termoplastického prášku. Z mechanických způsobů to může být zvýšení počtu kvazi-přízí při zpevňování, nebo aplikací armovací mřížky viz obr.19. Všechny tyto úpravy vlastností sendvičového jádra lze provést v laboratořích katedry netkaných textilií TU Liberec.

### **2.5.1. Aplikace disperzí**

Základní operace při aplikaci disperzí jsou:

- a) nanášení pojiva na vláknennou vrstvu
- b) zpevnění pojiva
- c) odstranění disperzního prostředí
- d) ztužení pojiva (síťování)

#### **2.5.1.1. Způsoby nanášení pojiva na vláknennou vrstvu**

Pojivo se nanáší na vláknennou vrstvu ve formě disperze. K nanášení disperzí pojiva na vláknennou vrstvu se využívá operací: impregnace, stříkání pojiva na vláknennou vrstvu, vzorové nanášení tiskem, nános raklí.

**Impregnace** - Při nanášení pojiva impregnací se zpevněná, předzpevněná, nebo nezpevněná vláknenná vrstva vede nádrží s disperzí pojiva. Přitom dojde k prosycení vrstvy disperzí. Dále vrstva prochází dvojicí válců, mezi nimiž je odždímána. Ve vrstvě zbude požadované množství disperze regulovatelné přitlakem ždímacích válců. [3]

U 3D textilií nelze tento postup použít, protože by při ždímání mohlo docházet k poškozování struktury textilie.

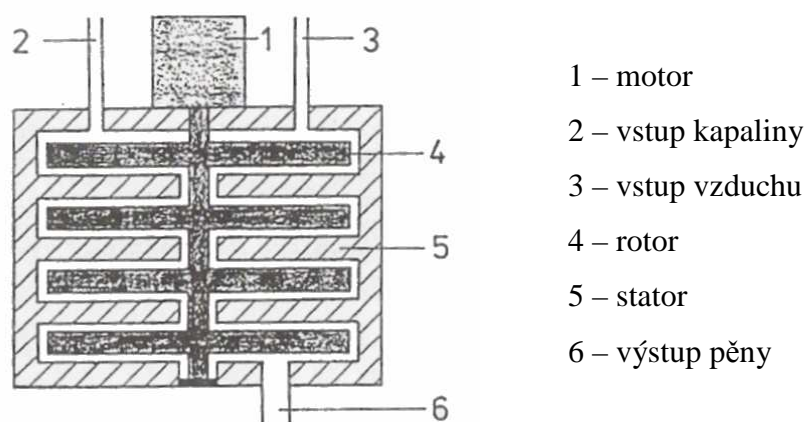
**Nános pojiva stříkáním** – Podstatou technologie je rozstříkávání pojiva nad vláknennou vrstvou. Kapičky pojiva pak dopadají na povrch vláknenné vrstvy a ulpívají na vláknech převážně v blízkosti povrchu vrstvy. Pro rovnoměrnější rozmístění pojiva v objemu textilie se využívá stříkání z obou stran v kombinaci s podtlakovým prosáváním. K rozstříkávání pojiva se využívá stříkacích pistolí, nebo zařízení pro rozstříkávání rotujícím kartáčem, případně hladkým válcem. [3]

**Vzorové nanášení tiskem a raklí** – cílem nanášení tiskem je nespojitý nános pojiva v ploše textilie, který plochu textilie dělí na části propojené, zajišťující vzájemnou soudržnost

vláken a nepropojené části s vysoce pohyblivými úseky vláken. Nejpoužívanější postupy jsou tisk vzorovanými válci a perforovanými rotačními šablonami. [3]

Při nánosu raklí jde o roztírání pojiva zejména na povrchu textilie. Pojivo je přiváděno potrubím do zásobní nádržky nebo vratně se pohybující hadicí po šíři textilie. [3]

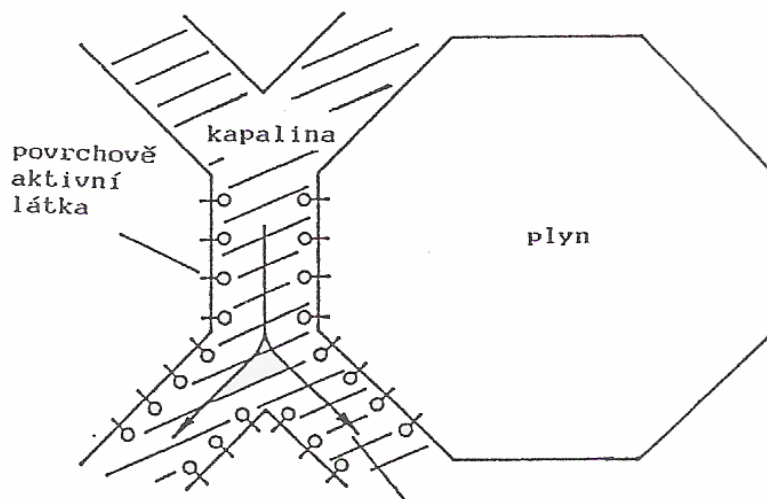
**Nanášení zpěněných pojiv** – Pojivo ve formě vodné disperze se zpění pomocí zpěňovacího zařízení. Do zařízení se přivádí v nastavitelném poměru vzduch a disperze pojiva s obsahem povrchově aktivní látky usnadňující tvorbu pěny, a případně i s obsahem záhustky upravující viskozitu. Mezi segmenty statoru a rotoru zařízení dojde k intenzivnímu promíslení vzduchu a kapaliny. Pěna je pak transportována k vlákenné vrstvě, na kterou je nanášena mezi válci, tiskem nebo raklí. [3]



**Obr. 27:** Mixer pro přípravu pěny

### **Zpěněné vodné disperze**

Pěna je disperzní dvoufázový systém složený z plynu rozptýleného ve vodné fázi. Jemně rozptýlený plyn tvoří v pěně bublinky s velkým měrným povrchem. S tím souvisí vysoká hodnota povrchové energie vedoucí k nestabilitě pěny. Podmínkou existence pěny je snížení povrchového napětí a povrchové energie kapalné fáze vůči plynu účinkem povrchově aktivních látek. [3]



**Obr. 28:** Schéma pěny

#### **2.5.1.2. Koagulace, sušení, síťování**

Koagulace je rozpad disperze spojením jejích částic a vyvolává se odstraněním disperzního prostředí (vody) jejím odpařením nebo využitím termosenzibilizátorů.

**Odpaření vody** – probíhá v sušících zařízeních, kde dochází postupně k následujícím dějům - ohřev vody k teplotě varu za současného odpařování a zvyšování koncentrace sušiny v disperzi na kritické koncentraci koagulace

- přeměna vody v páru, intenzivní odpařování, koagulace
- odpaření zbytku vody (sušení)
- případně zvýšení teploty (120 - 160°C) a síťování

Odpařování vody se odehrává převážně na povrchu textilie. Kapalně pojivo je z vnitřku vrstvy mezivláknennými kapilárními prostory transportováno do blízkosti povrchu a tam koaguluje. Výsledkem takového uspořádání procesu koagulace je textilie s vyšším obsahem pojiva u jednoho nebo u obou povrchů. To vede k nižšímu využití pojiva a ke zvýšení ohybové tuhosti výrobků. [3]

**Koagulace účinkem termosenzibilizátorů** – termosenzibilizátory jsou sloučeniny způsobující svou přítomností koagulaci disperze při jejím zahřátí pod teplotu varu (40 - 95°C) podle typu a koncentrace. Koagulace probíhá současně v celém objemu textilie, tím se zamezí zvyšování koncentrace pojiva v blízkosti povrchů. [3]

**Síťování** – probíhá většinou po dokončení procesu sušení, kdy je možno zvýšit teplotu na 120 - 160°C. Čas síťování je podle použitého síťujícího systému 1-6 minut. Síťováním vznikají trojrozměrné struktury pojiva a to vede k zvýšení odolnosti pojiva a výrobků vůči chemikáliím, vodě, procesům údržby, stárnutí atd. [3]

### 2.5.1.3. Nejpoužívanější polymery a kopolymery ve formě disperzí

Pojiva se volí podle požadovaných vlastností výrobků (adheze k pojenému vláknennému materiálu, mechanické vlastnosti, odolnost v podmínkách, kterým bude textilie vystavena) a podle ceny.

**Kopolymery butadien-styren (SBR)** – vlastnosti jsou ovlivňovány poměrem obou monomerů. Styren přispívá k tvrdosti a pevnosti, butadien k tažnosti. Mají nižší odolnost v ohybu a vůči stárnutí.

**Polyakrylátové kopolymery** – jejich vlastnosti lze v širokém měřítku ovlivňovat složením a to co se týče typu kyseliny (akrylová, metakrylová) nebo typu derivátu této kyseliny (estery s různým typem řetězce, amidy, nitrily).

**Polybutadien-akrylonitrilové kopolymery (NBR)** – nejkvalitnější pojiva z hlediska pružnosti a odolnosti v ohybu, vůči povětrnosti a chemikáliím. Vlastnosti lze měnit poměrem akrylonitrilu (tvrdost, odolnost vůči chemikáliím) a butadienu.

**Polyvinylacetát** – pojivo je méně odolné vůči organickým rozpouštědlům. Častěji se používají kopolymery vinylacetátu s různými komponenty jako je vynilchlorid nebo etylen (EVA kopolymery)

**Polyuretanové disperze** – připravují se dispergací polyizokynátů a dvojsytných alkoholů. Jsou kvalitnější a dražší. [3]

### 2.5.2. Aplikace prášku

Základní operace při aplikaci prášků jsou:

- nanesení pojiva (prášku) na vláknennou vrstvu
- tavení pojiva zvýšením teploty vrstvy
- formování pojících míst
- ochlazení pojiva

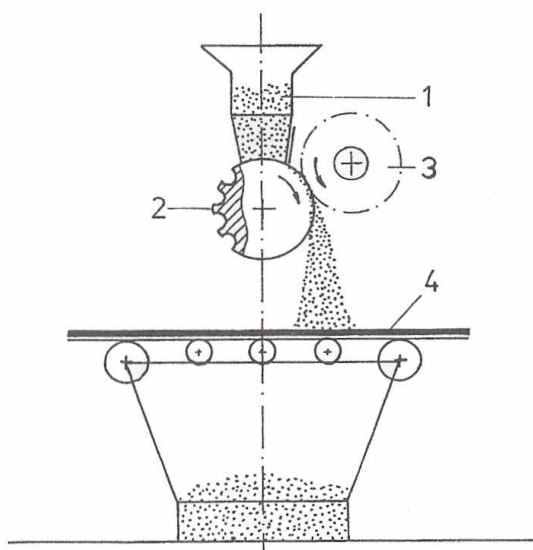
Prášky s rozměrem zrn obvykle mezi 0,1 – 0,5 mm se připravují nejčastěji mechanickým drcením granulátu ve speciálních mlýnech při teplotě pod teplotou skelného přechodu  $T_g$ . V případě kopolymerů vyznačujících se nízkými hodnotami  $T_g$ , je třeba použít speciálních drtičů, jejichž funkční agregáty jsou chlazeny kapalným dusíkem.

Prášky se nanášejí na povrch vláknenné vrstvy pomocí práškovacího zařízení (obr. 29). Zařízení sestává z násypky dosedající na rastrovací válec, nebo na válec opatřený na povrchu šroubovitou vynášecí drážkou. K válci je přisazen rotující kartáč, který z jeho povrchu uvolňuje ulpělá zrna. Prášek dopadá na vláknennou vrstvu pomocí gravitace.

Tavení pojiva (prášku) a formování pojících míst se děje teplovzdušným ohřevem, který se realizuje v pojících komorách. U výrobků s vyšší hustotou lze pro chlazení využít



kalandrovací válce. U výrobků s nižší hustotou (objemných) je využít nelze, protože by mohlo docházet ke snižování jejich objemnosti. [3]



- 1 – zásobník
- 2 – drážkový vynášecí válec
- 3 – stěrací kartáč
- 4 – vlákenná vrstva

**Obr. 29:** Práškovací zařízení

## 2.6. Návrh a cíl experimentu

V praktické části diplomové práce bude studována textilie vyrobená podle PV 2007-293, kde jako základní materiál bude použita vpichovaná netkaná textilie. Budou zde navrženy a aplikovány jak úpravy povrchu textilie u kterých se předpokládá, že povedou ke zlepšení mechanických a akustických vlastností produktu, tak i testy těchto vlastností.

**Cílem experimentu je:**

- 1) Získat základní informace o vlastnostech nového produktu
- 2) Získat informace o vlivu aplikovaných úprav na sledované vlastnosti produktu

Pro experiment provedený v této práci budou aplikovány na produkt následující úpravy:

- aplikace zpěněné disperze
- aplikace termoplastického prášku
- aplikace armovací mřížky
- dvojnásobná mechanická fixace povrchu kvazi-přízemi

testy vlastností takto upraveného i neupraveného produktu budou následující:

- zkouška tahem
- zkouška ohybem
- komprese
- test zvukové pohltivosti

### 2.6.1. Návrh výroby a úprav vzorků produktu

Na zařízení podle PV 2007-293 budou vyrobeny vzorky o dvou rozdílných tloušťkách při definovaných technologických parametrech tak, aby byl mezi tloušťkami co nejvyšší rozdíl. K seřízení stroje budou stanoveny tyto parametry:

- odtahová rychlost polotovaru ( $v_2$ )
- výstupní rychlost produktu ( $v_3$ )
- průnik zubů tvarovacích kol (P)

Navržené úpravy budou však aplikovány pouze na vzorky s menší tloušťkou, vzorky o větší tloušťce budou sloužit pouze pro porovnání.

#### ***Návrh úpravy pěnou disperze***

Na vzorky bude nanášena zpěněná akrylátová disperze pomocí kovového válečku (sloužícího jako stěrka) a přítlačného magnetického stolu, a to v jedné a ve třech vrstvách z obou stran produktu. Poté bude následovat sušení a fixace pojiva v horkovzdušné komoře a určení podílu pojiva v textilií.

#### ***Návrh úpravy nánosem termoplastického prášku***

Na vzorky bude nanášen polyethylenový prášek pomocí práškovacího zařízení (2.5.2.) ve čtyřech a osmi vrstvách z obou stran. Mezi nanášením jednotlivých vrstev bude provedeno stěrkování pro lepší proniknutí prášku do struktury textilie. Poté bude následovat natavení prášku v horkovzdušné komoře. Následně bude určen podíl pojiva v textilií.

#### ***Návrh úpravy aplikací armovací mřížky***

Na již vyrobenou textilii bude z obou stran připevněna polypropylenová armovací mřížka pomocí kvazi-přízí. Vyrobená textilie se spolu s armovací mřížkou znovu vloží do zařízení upraveného tak, že bude vynechána fáze tvorby skladů. Tím dojde jen k připevnění mřížky k textilii pomocí kvazi-přízí vytvořených rotujících elementy.

#### ***Návrh úprav pomocí dvojnásobného zpevnění kvazi-přízemi***

Dvojnásobného počtu kvazi-přízí se docílí dvojnásobným průchodem textilie zařízením (stejně jako v případě aplikace armovací mřížky, ovšem ta bude při tomto postupu vynechána).

## 2.6.2. Návrh testování vzorků

U vzorků budou stanoveny jejich základní parametry ( plošná hmotnost, objemová hmotnost, tloušťka) a budou měřeny:

- ohybové vlastnosti (maximální síla a průhyb)
- pevnostní vlastnosti (síla potřebná k porušení struktury vzorku)
- kompresní vlastnosti (síla potřebná ke stlačení vzorku)
- zvukoizolační vlastnosti (pohltivost zvuku)

Pro stanovení základních parametrů (hmotnosti, tloušťky) bude použito normovaných postupů.

### ***Tloušťka***

Tloušťka bude měřena podle normy ČSN EN ISO 50 84 (třídící znak 800 44) „Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků“ na přístroji UNI-THICKNESS-METER (COMPUTEXT) při základních parametrech:

- plocha čelisti 1000 mm<sup>2</sup>
- tlak 0,1 kPa
- čas 30 s

### ***Plošná hmotnost zkušebních vzorků***

Plošná hmotnost je definována jako hmotnost textilie vztažená na jednotku plochy a bude stanovena dle normy EDANA 40.3 – 90 [10]. Hodnota plošné hmotnosti se vypočítá podle vztahu (16).

$$G = \frac{m}{S} [g \cdot m^{-2}] \quad (16)$$

G plošná hmotnost vzorku [g.m<sup>-2</sup>]

m hmotnost vzorku [g]

S plocha vzorku [m<sup>2</sup>]

### ***Objemová hmotnost zkušebních vzorků***

Objemová hmotnost zkušebních vzorků bude stanovena podle normy ČSN 800845.[11]

Objemová hmotnost je definována jako podíl plošné hmotnosti vzorku ku tloušťce vzorku.

Pro objemovou hmotnost zde platí vztah (17).

$$m_{obj} = \frac{G}{h} [kg \cdot m^{-3}] \quad (17)$$

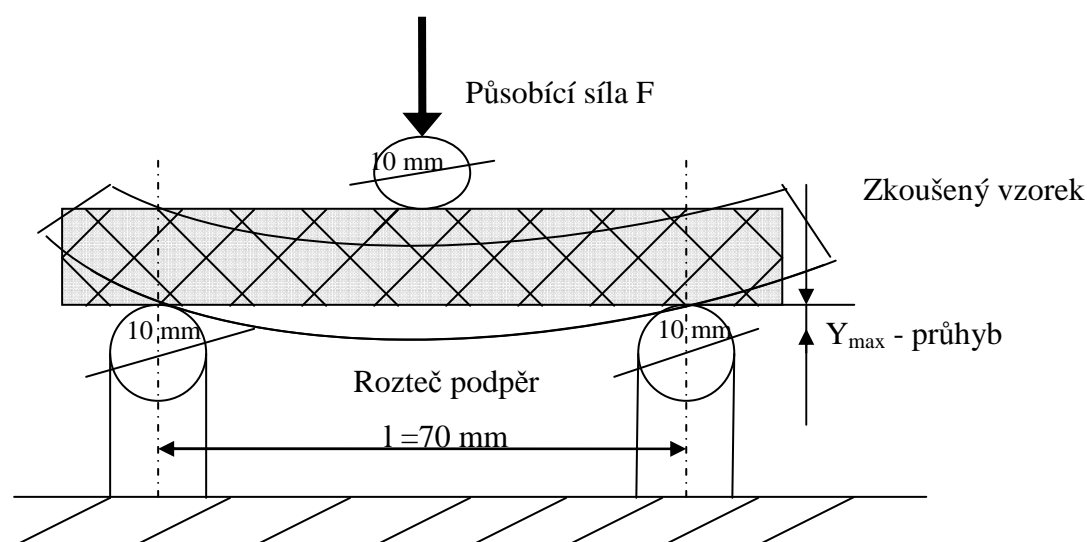
$m_{obj}$	objemová hmotnost vzorku [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]
$G$	plošná hmotnost vzorku [ $\text{kg.m}^{-2}$ ]
$h$	tloušťka vzorku [m]

### 2.6.2.1. Měření ohybových vlastností

Zjišťuje se tzv. odolnost v ohybu, ta je charakterizována silou, která způsobí průhyb vzorku o určitou hodnotu. Odolnost v ohybu bude měřena na přístroji Labtest 2.050. Bude použita modifikovaná metoda VW Group EHF – PV 505-10 pro testování odolnosti v ohybu tvrdých PU pěn nazývaná AUDI-TEST (viz obr.30).

#### *Zkouška ohybem – AUDI-TEST*

Princip experimentu bude spočívat v tom, že se vzorek položí vodorovně na podpěry. Vzdálenost mezi podpěrami bude 70 mm. Po uvedení přístroje do chodu bude vzorek kompozitu prohýbán uprostřed válečkem. Bude zjišťována maximální síla  $F$  [N], která způsobí prohýbání o určitou vzdálenost. Znázornění zkoušky ohybem je na obr.30.



**Obr. 30:** Znázornění zkoušky ohybem

Ohybová tuhost textilie reprezentuje vlastnost, která je důležitá, např. při navíjení, tvarování i nošení vzorků a má vliv na další vlastnosti, zvláště pak na splývavost textilie.

Ohybovou tuhostí rozumíme fyzikální veličinu, která jako silový odpor vzniká v plošné textilií při jejím ohýbání vnější silou nebo vlastní tíhou. Tento odpor je součtem všech třecích a soudržných sil, které při ohýbání textilie vznikají mezi vlákny. Tuhost v ohybu lze definovat také jako schopnost materiálu reagovat momentem vnitřních sil soudržnosti proti namáhání momentem vnějších sil způsobujících deformaci. Tuhost textilie v ohybu je definována vztahem 18. [12]

$$T = E \times J = E \times \frac{b \times h^3}{12} \quad (18)$$

T	tuhost v ohybu [Pa]
E	Youngův modul pružnosti [Pa]
J	plošný moment setrvačnosti [m <sup>4</sup> ]
h	tloušťka útvaru [m]
b	šířka útvaru [m]

Chování textilního materiálu při namáhání ohybem lze velmi obtížně teoreticky popsat a většina přístupů se opírá o experimentální metody.

Větší ohybovou tuhost lze dosáhnout, vycházíme-li ze vztahu (18), zvýšením Youngova modulu pružnosti (E) nebo zvýšením momentu setrvačnosti (I) daného materiálu. Vyšší hodnotu Youngova modulu lze dosáhnout změnou používané vlákenné suroviny a změnou technologických parametrů. Moment setrvačnosti v největší míře závisí na tloušťce materiálu.

Pro způsob namáhání zobrazený na obr.30 z pevnosti a pružnosti platí vztah (19) [12]

$$Y_{\max} = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times J} \quad [\text{m}] \quad (19)$$

kde F je maximální zatížení (při prasknutí) [N]

l je vzdálenost podpěr [m]

E je Youngův modul pružnosti [Pa]

J je moment setrvačnosti průřezu ( v našem případě je  $J = \frac{1}{12} b \times h^3$ ) [m<sup>4</sup>]

b je šířka vzorku [m]

h je tloušťka vzorku [m]

Pro porovnání ohybových tuhostí výrobků s jednotlivými úpravami mezi sebou, a také s výrobky neupravenými, lze považovat parametry J a l za konstanty. Vztah pro ohybovou tuhost lze pak zjednodušit následovně :

$$T = E \times J \approx \frac{F}{Y} \quad (20)$$

a její jednotka v tomto případě bude N.m<sup>-1</sup>.

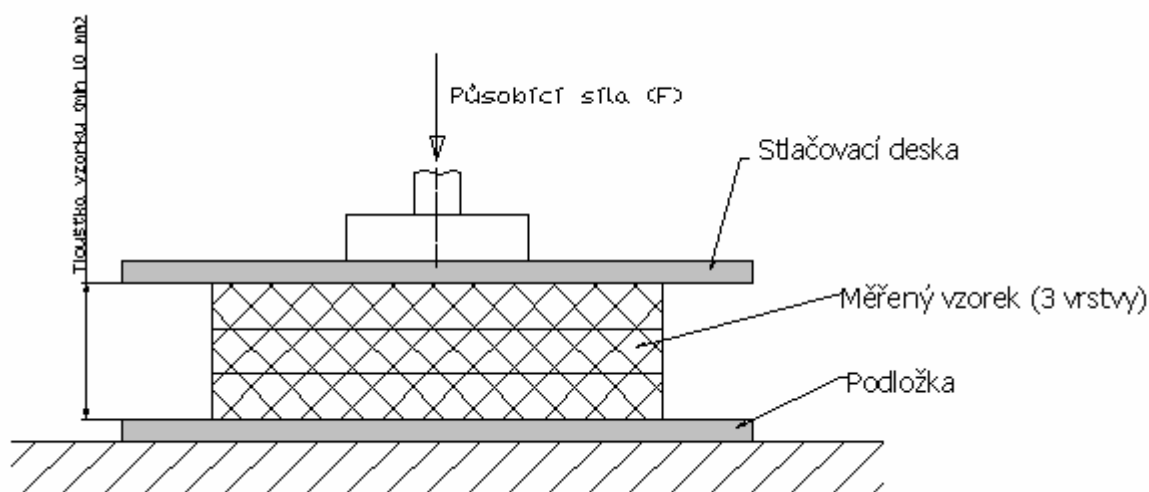
#### 2.6.2.2. Měření odporu proti stlačení

Odpor proti stlačení bude měřen podle normy ISO 3386. Stanovení odporu proti stlačení je měřítkem nosných vlastností materiálu, nemusí však být měřítkem schopnosti snést

dlouhotrvající zařízení. ISO 3386 specifikuje metodu stanovení odporu proti stlačení nízkohustotních měkčených lehčených materiálů s hustotou do  $250 \text{ kg/m}^3$ . Určuje rovněž metodu pro výpočet hodnoty napětí v tlaku těchto materiálů. Měření odporu proti stlačení bude provedeno na přístroji Labtest 2.050. [13]

### **Princip zkoušky**

Princip zkoušky je na obr.31. Mezi dvě desky (stlačovací desku a podložku) se vloží zkušební vzorek, jehož plocha musí být větší než  $2500 \text{ mm}^2$  a tloušťka nesmí být menší než 10 mm (jinak je nutné vzorky navrstvit, aby dosahovaly požadované tloušťky). Vzorek nesmí desky v žádném místě přesahovat a musí být umístěn tak, aby síla působila ve středu zkušebního stroje. Zkušební těleso se stlačuje stlačovací deskou rychlostí  $100 \pm 20 \text{ mm/min}$  o 70 % původní tloušťky. Poté se stejnou rychlostí deska zvedá, dokud se vzdálenost mezi stlačovací deskou a základnou nerovná původní tloušťce zkušebního tělesa. Třikrát se opakuje stejný postup a při čtvrtém cyklu se odečítá síla (F) při předepsané deformaci.



**Obr. 31:** Znáznornění zkoušky kompresí

### **Vyjádření výsledků**

Odpor proti stlačení při jakémkoli procentuálním stlačení, v kilopaselech, se počítá podle vztahu (21).

$$CC_{xx} = 1000 \times \frac{F_{xx}}{S} \quad (21)$$

kde  $CC_{xx}$  je odpor proti stlačení při stlačení o xx % [kPa];

$F_{xx}$  síla zaznamenaná při čtvrtém zatěžovacím cyklu při stlačení o xx % [N];

$S$  plocha povrchu zkušebního tělesa [ $\text{mm}^2$ ].

Hodnota napětí v tlaku, v kilopaselech, se vypočítá podle vztahu (22).

$$CV_{40} = 1000 \times \frac{F_{40}}{S} \quad (22)$$

kde  $CV_{40}$  je odpor proti stlačení při stlačení o 40 % [kPa];

$F_{40}$  síla zaznamenaná při čtvrtém zatěžovacím cyklu při stlačení o 40 % [N];

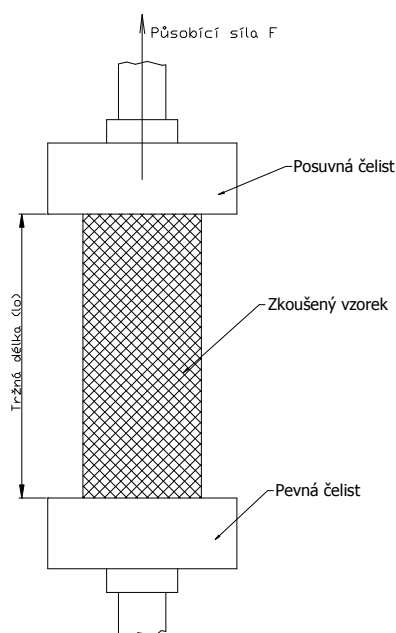
$S$  plocha povrchu zkušebního tělesa [mm<sup>2</sup>].

### 2.6.2.3. Měření pevnosti v tahu

Měření bude provedeno na přístroji Labtest 2.050. Pevnost je definována jako maximální napětí, tj. síla, která při určitém namáhání zkoušený vzorek přetrhne. [16]

#### *Princip zkoušky*

Princip zkoušky je na obr.32. Měřený vzorek se upne na obou stranách do čelistí měřicího zařízení. Poté je natahován konstantní rychlostí, dokud nedojde k jeho přetrhnutí (pokles síly). Měřítkem pevnosti je maximální síla při které došlo k destrukci vzorku. [16]



**Obr. 32:** Znáznornění zkoušky tahem

#### *Napětí do přetrhu (pevnost v tahu)*

je absolutní síla  $F$  [N] přepočítaná buď na plochu průřezu  $S$  [m<sup>2</sup>] nebo na délku resp. šířku vzorku – tzv. poměrná pevnost. Přepočet na plochu je obvyklý u homogenních materiálů (např. kovů). Z nich je možno vyrobit vzorek s přesně definovanou plochou průřezu. Pevnost v tahu je vyjádřena podle vztahu 23 nebo 24.

$$\sigma = \frac{F[N]}{S[m^2]} \quad [\text{Pa}] \quad (23) \quad \text{nebo} \quad \sigma = \frac{F[N]}{\text{pom.šře}[m]} \quad [\text{N.m}^{-1}] \quad (24)$$

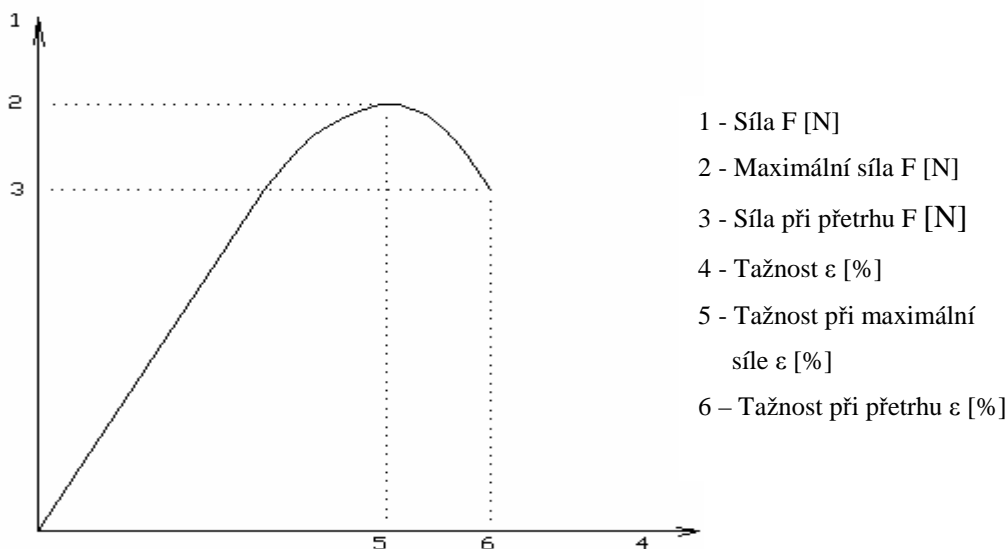
V případě plošných textilií je pevnost vyjádřena v absolutních hodnotách síly, vzorek je však přesně definován. [16]

### **Tažnost**

Relativní deformaci do přetrhu nazýváme tažnost [%]. Tažnost  $\varepsilon$  se stanoví jako podíl prodloužení  $\Delta l$  a upínací délky zkušební vzorku  $l_0$ .

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 10^2 \text{ [%]} \quad (25)$$

Záznam tahové zkoušky, tj. závislost síly působící na prodloužení vzorku při zkoušce, nazýváme pracovním diagramem. [16]

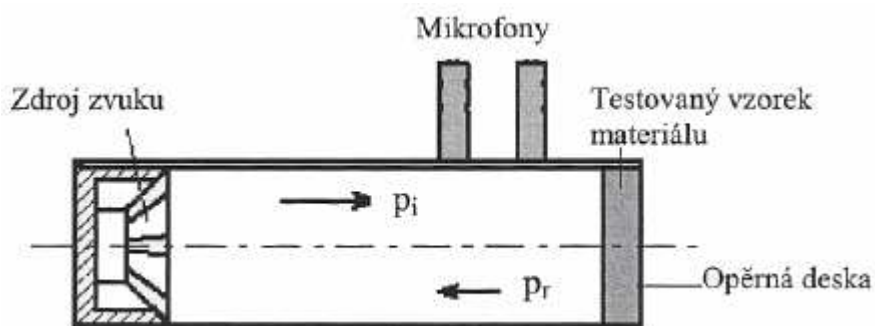


**Obr. 33:** Tahová křivka

#### **2.6.2.4. Měření pohltivosti zvuku**

Akustickou pohltivostí se rozumí schopnost materiálu pohltit část dopadajícího akustického výkonu. Akustická pohltivost se mění s frekvencí, značíme ji  $\alpha$  a nabývá hodnot  $0 \div 1$ . Pro stanovení činitele zvukové pohltivosti  $\alpha$  bude použita dvoumikrofonová impedanční trubice typu 4206 (obr.34), která slouží pro měření akustických charakteristik malých testovaných vzorků, včetně činitele zvukové pohltivosti, činitele zvukové odrazivosti a normované impedance ve frekvenčním rozsahu od 50 Hz do 6,4 kHz. Toho je dosaženo měřením dopadajících a odražených složek náhodného či pseudonáhodného dopadajícího hluku, který je generován uvnitř odporové trubice zdrojem zvuku, odražená složka je ovlivněna akustickými vlastnostmi testovaného vzorku. [15]





**Obr. 34:** Dvoulmikrofonová impedanční trubice

### Princip měření

Signál vytvářený zvukovým zdrojem dopadá na vzorek materiálu, který je umístěný na opačném konci trubice. Mikrofony na stěně trubice snímají na dvou místech složky dopadajícího ( $P_i$ ) a odraženého ( $P_r$ ) akustického tlaku, pomocí nichž jsou vypočítány tři frekvenční přenosové funkce ( $H_1$ ,  $H_i$ ,  $H_r$ ).

$H_1$  frekvenční přenosová funkce

$H_i$  frekvenční přenosová funkce spojená se složkou signálu od zdroje

$H_r$  frekvenční přenosová funkce spojená se složkou odraženého signálu

Využitím těchto přenosových funkcí můžeme provést výpočet komplexního koeficientu odrazivosti ( $R$ ) dle následujícího vztahu:

$$R = \left( \frac{H_1 - H_i}{H_r - H_1} \right) \times e^{j2k(l+s)} \quad (26)$$

kde  $k$  je vlnové číslo

$l$  je vzdálenost mezi prvním mikrofonom a přední stranou vzorku [m]

$s$  je vzdálenost mezi měřícími mikrofony [m]

Z koeficientu odrazivosti  $R$  lze provést výpočet normalizovaného impedančního poměru ( $z / \rho c$ ) a koeficientu akustické pohltivosti ( $\alpha$ ) dle následujících vzorců:

$$\frac{z}{\rho c} = \frac{1 + R}{1 - R} \quad (27) \quad \text{a} \quad \alpha = 1 - |R|^2 \quad (28)$$

Měření akustické pohltivosti dvou mikrofоновou metodou předpokládá šíření rovinných vln a žádné úniky energie způsobené pohltivostí stěn impedanční trubice. [15]

### 3. Experimentální část

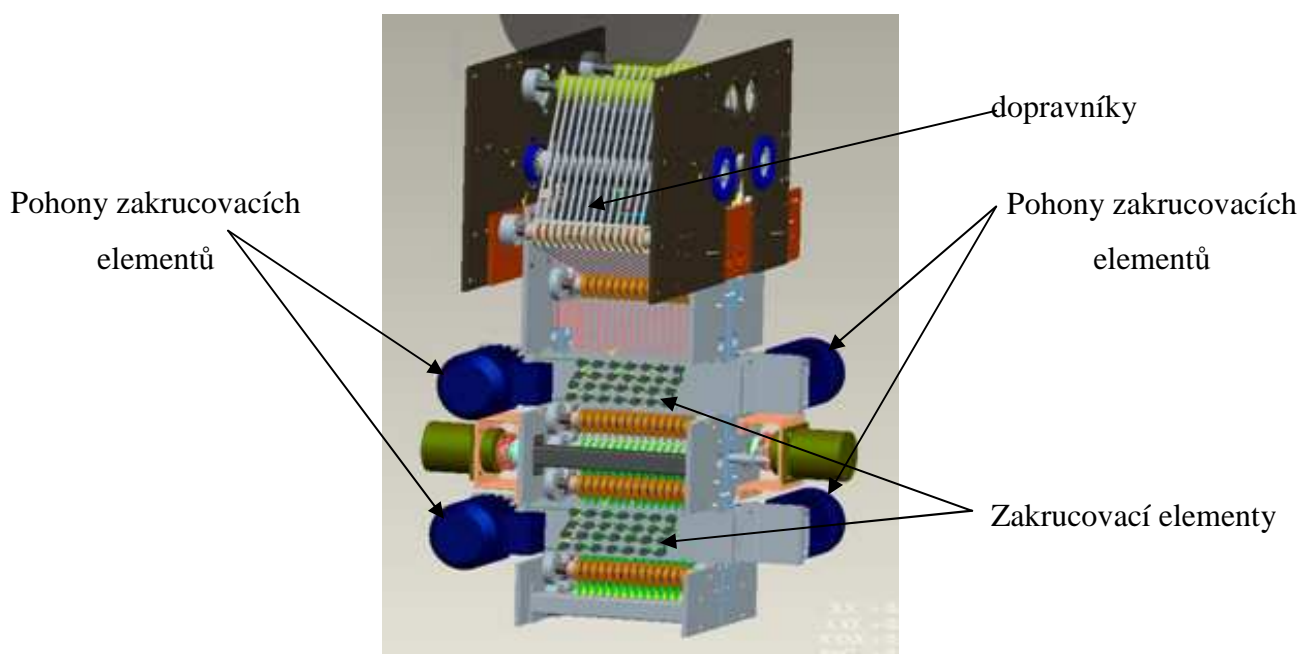
Cílem experimentu je realizovat navržené úpravy (viz kapitola 2.6.1.) a zjistit konkrétní hodnoty jejich vlivu na vlastnosti produktu.

#### 3.1. Příprava vzorků pro měření

Příprava vzorků se skládá z výroby 3D textilie podle PV 2007-293 a z úprav této textilie pomocí: *zpěněné disperze, termoplastického prášku, armovací mřížky, nebo dvojnásobného zpevnění kvazi-přízemi* a z vysekání vzorků do normou daných formátů.

##### 3.1.1. Výroba 3D textilie

Jako základní materiál pro výrobu 3D textilie byla v této práci použita vpichovaná netkaná 2D textilie, vyrobená z polyesteru tloušťky 0,4 mm a plošné hmotnosti je 0,06743 kg/m<sup>2</sup>. 3D textilie byla vyrobena na zařízení podle PV 2007-293 (viz kap. 2.4. a obrázek 35) ve dvou tloušťkách podle technologických parametrů uvedených v tabulce 2.



**Obr. 35:** Zařízení, na kterém byly vyrobeny vzorky

	Parametr	Vzorek č.1	Vzorek č.2
Technologické parametry	Odtahová rychlost v2 [m/min]	10	6,75
	Výstupní rychlost v3 [m/min]	2,5	1,5
	Zhuštění k	4	4,5
	Průnik P (měřený) [mm]	4,7	6,4
Parametry produktu	Tloušťka T (měřená) [mm]	5,4	7,2
	Plošná hmotnost [Kg/m <sup>2</sup> ]	0,39	0,54
	Objemová hmotnost [Kg/m <sup>3</sup> ]	72,58	74,37

**Tab. 2:** Technologické parametry a parametry produktu

Pro úpravy byl použit jen vzorek se jmenovitou tloušťkou 5 mm (č.1), vzorek se jmenovitou tloušťkou 7 mm (č.2) byl testován pouze v režném (neupraveném) stavu.

### 3.1.2. Úprava aplikací zpěněné disperze

Disperze ve složení 70% akrylátové disperze (Axilat 1691), 29,5% vody a 0,5% tenzidu (Syntapon), byla zpěněna v ručním zpěňovacím zařízení. Poté byla nanесena pomocí kovového válečku, síta, dřevěného rámečku a stolu s magnetickým přitlakem (Mini MD F, firmy Zimmer) na základní materiál.

Materiál se sítem je vložen do rámečku, který leží na stole viz obr.36. Válečková stěrka se přes síto odvaluje po materiálu a hrne před sebou zpěněnou disperzi, kterou současně vtlačuje do materiálu. Pohyb stěrky je magnetický. Elektromagnety jsou umístěny ve stole pod tiskací dekou a stěrka sleduje jejich pohyb. Přitlak stěrky je rovněž magnetický, regulovaný intenzitou magnetického pole. Síto slouží pro lepší rozložení disperze na materiálu. Množství nanесeného pojiva lze regulovat průměrem válečku a rychlostí jeho pohybu. Rozložení pojiva v objemu textilie lze regulovat přitlakem na váleček a také hmotností válečku.

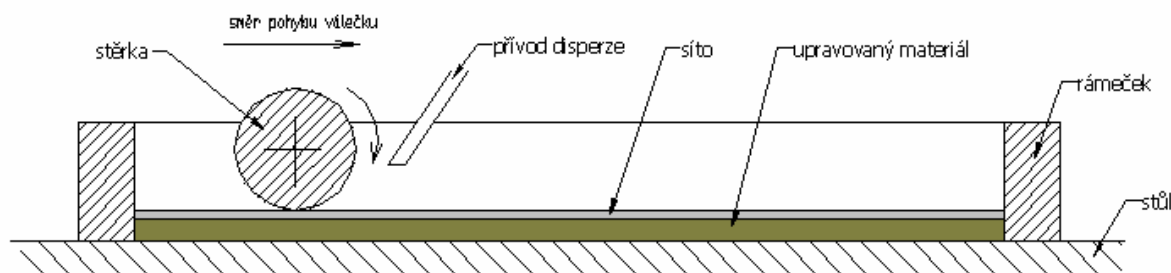
Rozměry válečku – průměr 20 mm a délka 165 mm

Hmotnost válečku – 400g

Přitlak – nejvyšší stupeň 4

Rychlost pohybu válečku – 1m/min

U vzorků označených D1 byla nanесena jedna vrstva z každé strany a u vzorků označených jako D2 byly z každé strany nanесeny tři vrstvy. Po nanесení pojiva z jedné strany (ať už jedné nebo tří vrstev) vždy následovalo sušení v horkovzdušné komoře po dobu 20-ti minut při teplotě 120°C. Následně byly vzorky zváženy a byl zjištěn obsah pojiva v materiálu. U vzorků D1 je to 44,8 % a u vzorků D2 je to 104,6 % původní hmotnosti materiálu.



**Obr. 36:** Úprava povrchu nanášením disperze

### 3.1.3. Úprava aplikací termoplastického prášku

Polyethylen ve formě jemného prášku byl nanesen na základní materiál pomocí práškovacího zařízení viz. obr.28. Vzorky označené jako P1 byly posypány čtyřikrát z každé strany a vzorky označené jako P2 byly posypány z každé strany osmkrát. Po každém posypání následovalo ruční stěrkování materiálu plochou ocelovou stěrkou pro lepší zanesení prášku mezi jednotlivé sklady.

Poté byly vzorky po dobu 15-ti minut umístěny do horkovzdušné komory, kde při teplotě 140°C došlo k roztavení prášku a zformování pojících míst. Následně byly vzorky umístěny mezi dva ocelové plechy, pro zamezení jejich zdeformování. Tam došlo ke ztuhnutí roztaveného prášku.

Vzorky byly poté zváženy pro zjištění obsahu pojiva v materiálu. U vzorků P1 je to 8,11 % a u vzorků P2 to je 10,33 % původní hmotnosti materiálu.

### 3.1.4. Úprava aplikací armovací mřížky

Na produkt byla z obou stran připevněna pomocí kvazi-přízí armovací mřížka firmy Conwed. Parametry mřížky jsou: materiál – polypropylen

plošná hmotnost – 0,0206 kg/m<sup>2</sup>

šířka drátků – 0,3 mm

velikost ok – 5 x 5 mm

Vyrobený materiál byl spolu s mřížkou opět vložen do zařízení (PV 2007-293). Předtím byla z funkce vyřazena tvarovací kola vytvářející sklady, tím došlo pouze k fixaci mřížky k povrchu textilie rotujícími elementy. Vlivem opětovného zpevnění kvazi-přízemi se změnil jeho délka a tím i plošná hmotnost. Vstupní rychlost byla 2 m/min. Délka materiálu se snížila o 4 %, výsledná plošná hmotnost produktu s mřížkou je 0,433 kg/m<sup>2</sup>. Vzorky upravené aplikací armovací mřížky byly označeny písmenem M.

### 3.1.5. Úprava pomocí dvojnásobného zpevnění povrchu kvazi-přízemí

Na stejně upraveném zařízení (vyřazení tvarovacích kol) jako v předchozím případě byl na produkt aplikován dvojnásobný počet kvazi-přízí dvojím průchodem produktu zařízením. Po druhém průchodu produktu zařízením se snížila jeho délka o 18,1 %. Plošná hmotnost dvojnásobně zpevněného produktu je 0,478 kg/m<sup>2</sup>. Takto upravené vzorky byly označeny písmenem X.

### 3.1.6. Přehled vzorků vyrobených k testování

Vzorek (úprava)	Označení	Plošná hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Obsah pojiva [%]
č.1 - bez úpravy	B	0,392	72,58	-
č.2 – bez úpravy	T	0,541	74,37	-
Disperze – 1 vrstva	D1	0,567	105,12	44,7
Disperze – 3 vrstvy	D2	0,801	148,49	104,57
Mřížka	M	0,433	80,27	-
Prášek – 4 x posypáno	P1	0,418	77,49	6,82
Prášek – 8 x posypáno	P2	0,441	81,76	12,62
Dvojnásobné zpevnění povrchu	X	0,478	88,62	-

*Tab. 3: Označení a parametry zkušebních vzorků*

## 3.2. Testování vzorků

### 3.2.1. Měření ohybových vlastností

Byla použita metoda AUDI-TEST popsaná v kap. 2.6.2.1. Zjišťovala se síla potřebná k prohnutí vzorku o danou hodnotu, a následně byla vypočítána podle vztahu (20) ohybová tuhost vzorku.

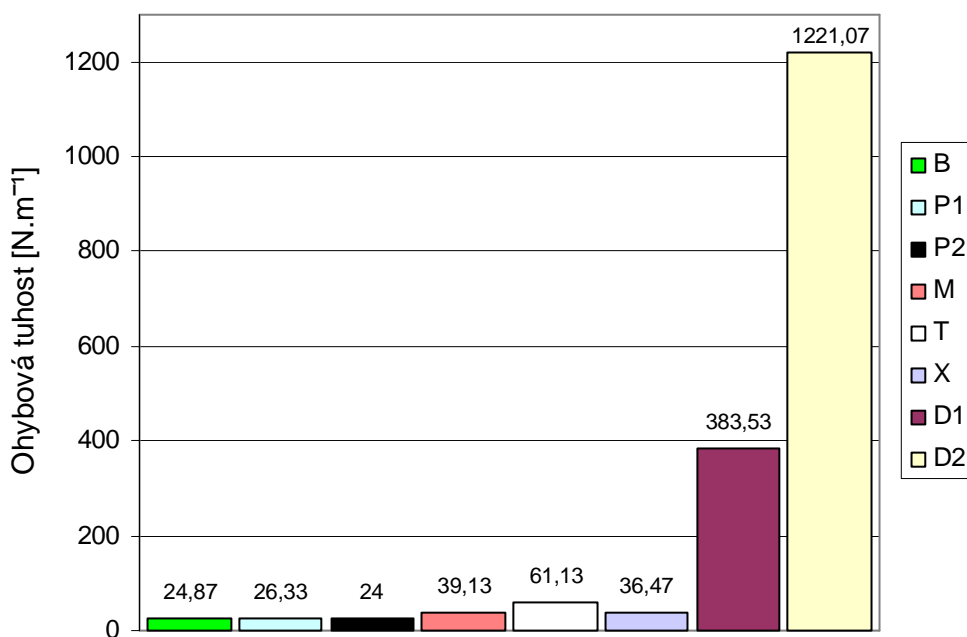
Pro každou úpravu bylo měřeno 10 vzorků ve směru kolmém na sklady produktu (označeno jako „podélně“) a 10 vzorků ve směru rovnoběžném se sklady produktu označeno jako „příčně“. Rozměry měřených vzorků byly 50 x 100 mm.

Test byl prováděn na přístroji LabTest 2.050. Princip experimentu spočíval v tom, že vzorek se položil vodorovně na podpěry. Vzdálenost mezi podpěrami byla 70 mm. Po uvedení přístroje do chodu byl vzorek prohýbán uprostřed válečkem. Byla měřena síla  $F$  [N], která způsobila prohnutí vzorku o průhyb  $Y = 15$  mm. Poté byla počítána ohybová tuhost podle vztahu (20).

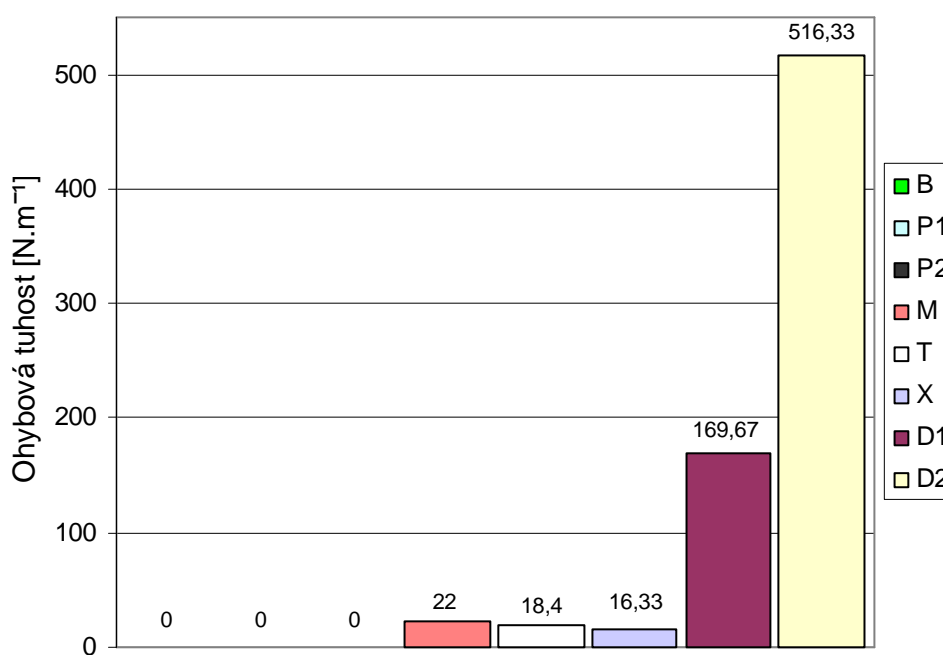
Naměřené hodnoty byly zpracovány a graficky vyhodnoceny programem Microsoft Excel a jsou uvedeny v příloze č.1. V tab. 4 a v grafech 2 a 3 jsou uvedeny průměrné hodnoty síly při daném průhybu a ohybová tuhost vzorků, směrodatné odchylky a variační koeficienty.

Vzorek	Průměrné hodnoty					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m <sup>-1</sup> ]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
B	0,37	-	15	15	24,87	-
Směrodatná odchylka	0,03	-	0	0	2,13	-
Variační koeficient [%]	8,58	-	0	0	8,58	-
D1	5,75	2,55	15	15	383,53	169,67
Směrodatná odchylka	3,31	0,68	0	0	220,41	45,53
Variační koeficient [%]	57,47	26,84	0	0	57,47	26,84
D2	18,32	7,75	15	15	1221,07	516,33
Směrodatná odchylka	9,85	2,10	0	0	656,66	139,95
Variační koeficient [%]	53,78	27,10	0	0	53,78	27,10
P1	0,4	-	15	15	26,33	-
Směrodatná odchylka	0,05	-	0	0	3,16	-
Variační koeficient [%]	12,01	-	0	0	12,01	-
P2	0,36	-	15	15	24	-
Směrodatná odchylka	0,04	-	0	0	2,51	-
Variační koeficient [%]	10,48	-	0	0	10,48	-
M	0,59	0,33	15	15	39,13	22
Směrodatná odchylka	0,03	0,03	0	0	2,2	1,96
Variační koeficient [%]	5,62	8,92	0	0	5,62	8,92
T	0,92	0,28	15	15	61,13	18,4
Směrodatná odchylka	0,06	0,02	0	0	3,96	1,51
Variační koeficient [%]	6,48	8,23	0	0	6,48	8,23
X	0,55	0,25	15	15	36,47	16,33
Směrodatná odchylka	0,05	0,03	0	0	3,5	2,02
Variační koeficient [%]	9,6	12,36	0	0	9,6	12,36

**Tab. 4:** Výsledky měření ohybových vlastností



**Graf 1:** Průměrné hodnoty ohybové tuhosti v příčném směru



**Graf 2:** Průměrné hodnoty ohybové tuhosti v podélném směru

### **Diskuze k naměřeným hodnotám**

Z grafů je patrné že nejvyšších hodnot ohybové tuhosti v obou směrech dosahovaly vzorky upravené aplikací zpěněné disperze (D1 a D2). Vzorky s nánosem disperze ve třech vrstvách (D2) mají přibližně trojnásobnou hodnotu ohybové tuhosti než vzorky s nánosem v jedné vrstvě (D1). Nejmenší vliv na ohybovou tuhost má úprava aplikací termoplastického

prášku (P1 a P2). V podélném směru nebylo možné u vzorků P1, P2 a původních neupravených vzorků (B) ohybovou tuhost vyhodnotit, protože síla potřebná k jejich prohnutí byla nižší než 0,15 N, což je mimo rozsah měřicího přístroje. V příčném směru se hodnoty ohybové tuhosti vzorků upravených aplikací prášku téměř neliší od původního vzorku. Vzorky upravené aplikací armovací mřížky (M) a dvojnásobným zpevněním povrchu (X) dosahují téměř shodných hodnot ohybové tuhosti a to přibližně jen o 30 % vyšších oproti původnímu neupravenému vzorku.

### **3.2.2. Měření kompresních vlastností**

Měření bylo provedeno v laboratoři KNT TU Liberec na přístroji Labtest 2.050. Podle normy ISO 3386 byla měřena síla potřebná ke stlačení vzorku o 70 % jeho tloušťky. Princip zkoušky je uveden v kapitole 2.6.2.2. Vzorky byly měřeny v jedné a dvou vrstvách. V jedné vrstvě nedosahovala tloušťka vzorku normou požadovaných 10 mm, ve dvou vrstvách už ano. Jelikož se předpokládá, že materiál bude výrazně namáhán na tlak pouze při tvarovacím procesu ve výrobě a to jen jednou, byla síla odečítána hned po prvním stlačení. Následně byl podle vztahu (21) počítán odpor proti stlačení  $C$  [kPa] při stlačení o 70 % původní tloušťky.

Parametry zkoušky jsou:

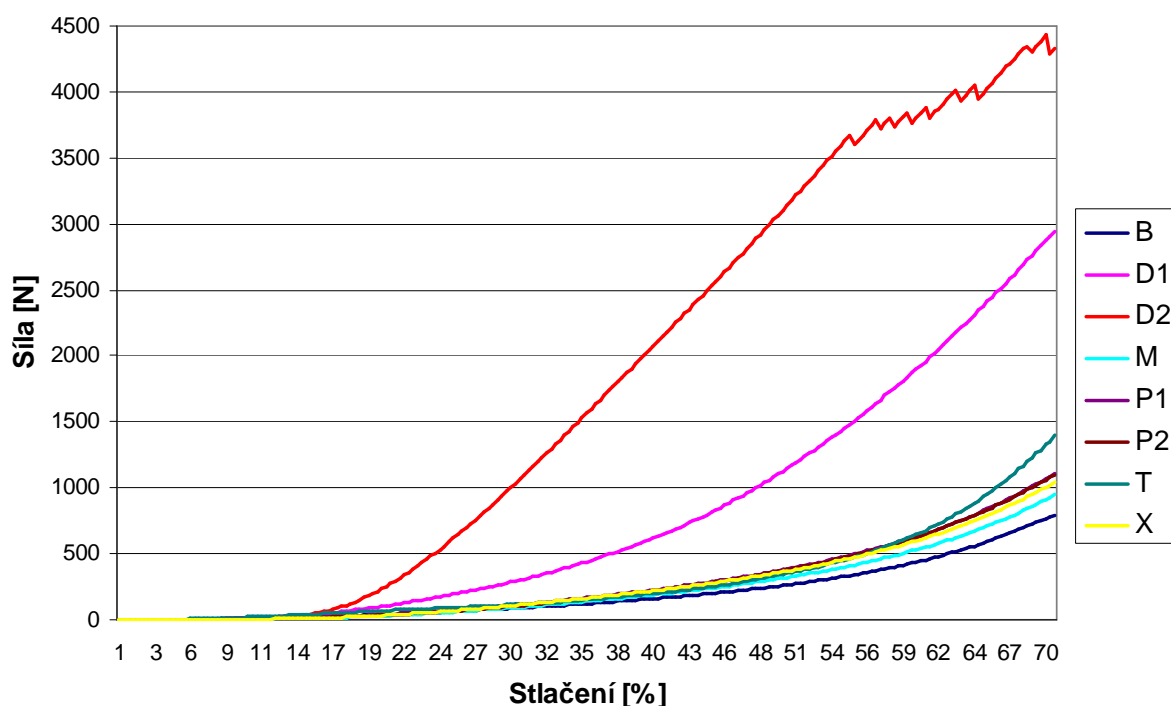
- vzorek – kruhový tvar o průměru 100 mm
- rychlost zatěžování – 100 mm/min

V jedné vrstvě bylo měřeno 10 vzorků a ve dvou vrstvách 5 vzorků od každého materiálu. Výsledky měření byly zpracovány programem Microsoft Excel a jsou uvedeny v příloze č.2. V tabulce 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty síly  $F$  [N] a odporu proti stlačení  $C$  [kPa] při stlačení o 70% původní tloušťky. V grafech 3 a 4 je zobrazena závislost síly na stlačení u jednotlivých materiálů.

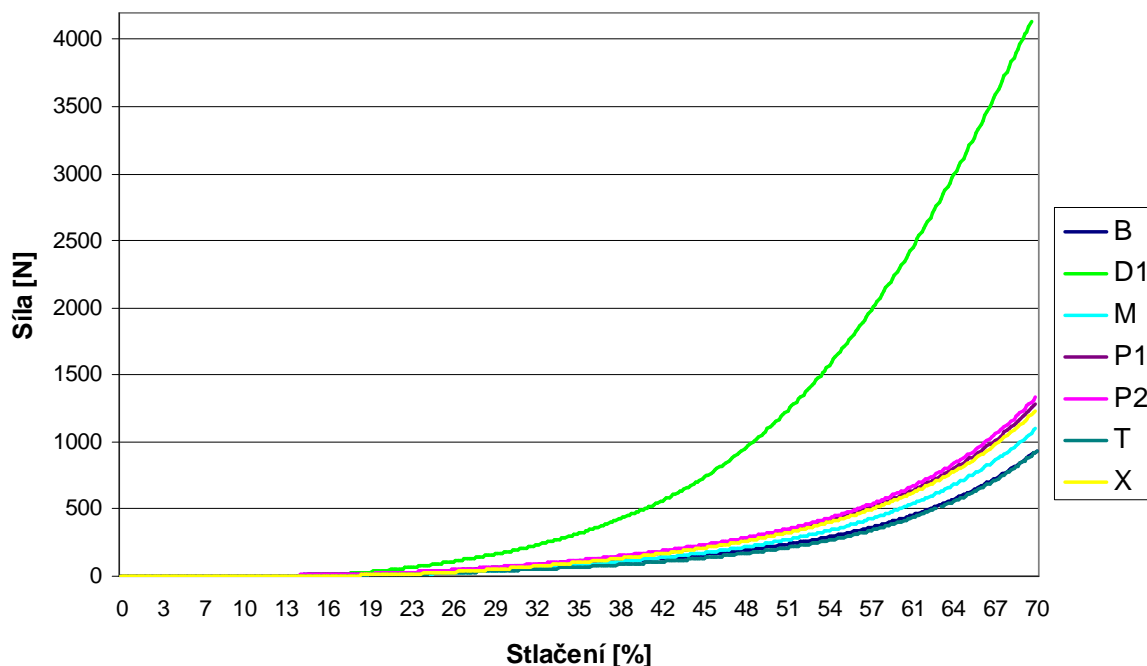


	Průměrné hodnoty					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
<b>Vzorek B</b>	797,87	939,46	70	70	101,64	119,68
Směrodatná odchylka	26,95	19,41	0	0	3,43	2,47
Variační koeficient [%]	3,38	2,07	0	0	3,38	2,07
<b>Vzorek T</b>	1398,26	934,14	70	70	178,12	119,00
Směrodatná odchylka	69,35	29,01	0	0	8,83	3,70
Variační koeficient [%]	4,96	3,11	0	0	4,96	3,11
<b>Vzorek D1</b>	2946,82	4129,78	70	70	375,39	526,09
Směrodatná odchylka	256,13	296,73	0	0	32,63	37,80
Variační koeficient [%]	8,69	7,19	0	0	8,69	7,19
<b>Vzorek D2</b>	3663,38	-	70	-	466,67	-
Směrodatná odchylka	655,28	-	0	-	83,47	-
Variační koeficient [%]	17,89	-	0	-	17,89	-
<b>Vzorek P1</b>	1107,93	1284,43	70	70	141,14	163,62
Směrodatná odchylka	51,04	72,79	0	0	6,50	9,27
Variační koeficient [%]	4,61	5,67	0	0	4,61	5,67
<b>Vzorek P2</b>	1099,58	1332,01	70	70	140,07	169,68
Směrodatná odchylka	78,97	95,50	0	0	10,06	12,17
Variační koeficient [%]	7,18	7,17	0	0	7,18	7,17
<b>Vzorek M</b>	964,02	1098,57	70	70	122,81	139,94
Směrodatná odchylka	49,20	46,57	0	0	6,27	5,93
Variační koeficient [%]	5,10	4,24	0	0	5,10	4,24
<b>Vzorek X</b>	1040,17	1314,86	70	70	132,51	167,50
Směrodatná odchylka	76,72	41,24	0	0	9,77	5,25
Variační koeficient [%]	7,38	3,14	0	0	7,38	3,14

**Tab. 5:** Výsledky měření kompresních vlastností



**Graf 3:** Závislost síly na stlačení – 1 vrstva



**Graf 4:** Závislost síly na stlačení – 2 vrstvy

#### ***Diskuze k naměřeným hodnotám***

Z tabulky 5 a z grafů 3 a 4 je vidět že největší vliv na kompresní vlastnosti měly úpravy aplikací disperze (D1 a D2), kde byl odpor proti stlačení výrazně vyšší než u režného produktu. V případě vzorku D2 ve dvou vrstvách nebylo možné sílu při stlačení vzorku o 70% změřit, neboť přesahovala hodnotu 4500 N (maximální přístrojem povolená hodnota). Ostatní úpravy neměly na kompresní vlastnosti téměř žádný vliv. Při stlačení o 20 % původní tloušťky nevykazovaly tyto materiály téměř žádný odpor. Při stlačení o 20 – 50 % byl odpor stále velmi malý. Výraznější odpor proti stlačení se začal projevovat až při stlačení o více než 50 %.

#### **3.2.3. Měření pevnosti v tahu**

Měření bylo provedeno v laboratoři KNT TU Liberec na přístroji Labtest 2.050. Pevnost v tahu byla měřena pouze ve směru kolmém na sklady produktu (podélném) a byla zjišťována síla při které se začnou jednotlivé sklady oddělovat. Testuje se tedy pevnost kvazi-přízi. Ve směru rovnoběžném se sklady (příčném) by měření nemělo velký význam, neboť produkt je silně anizotropní a síla potřebná k jeho porušení v tomto směru je minimálně o dva řády vyšší.

Princip zkoušky je uveden v kapitole 2.6.2.3. a parametry zkoušky byly:

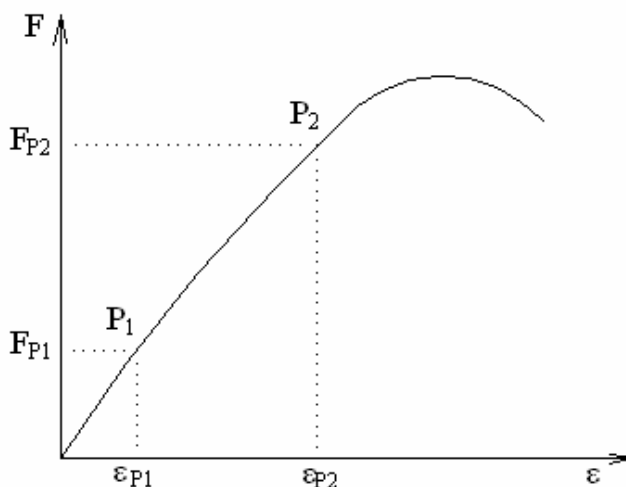
- rychlost posuvu čelisti – 100 mm/min
- rozměry vzorku – 100 x 50 mm
- upínací délka – 60 mm

Ukončení zkoušky mělo nastat při poklesu síly o 15 %, což by naznačovalo oddělení prvního skladu a tím pádem porušení struktury. To se ale projevilo pouze u některých vzorků (D1, D2 a M). U ostatních vzorků praskaly sklady velmi pozvolna, pokles síly o 15 % zde nenastal a zkouška byla ukončena při prodloužení vzorku o 50 % upínací délky.

Měřeno bylo 10 vzorků od každého materiálu. Následně byl podle vztahu (29) počítán sekantový modul pružnosti  $E_s$ . Ten byl zjišťován v bodech  $P_1$  a  $P_2$  při tažnostech  $\varepsilon_1 = 5 \%$  a  $\varepsilon_2 = 15 \%$ . To je vidět na obrázku 37.

$$E_s = \frac{F_P}{\varepsilon_P S} \quad [\text{Pa}] \quad (29)$$

kde  $F_P$  je síla a  $\varepsilon_P$  je tažnost v bodě P a S je plocha průřezu vzorku. V případě vzorků s vyšší tloušťkou (T) je plocha průřezu  $S = 360 \text{ mm}^2$ , u ostatních vzorků (B, D1, D2, M, X, P1, P2) je to  $S = 270 \text{ mm}^2$ .



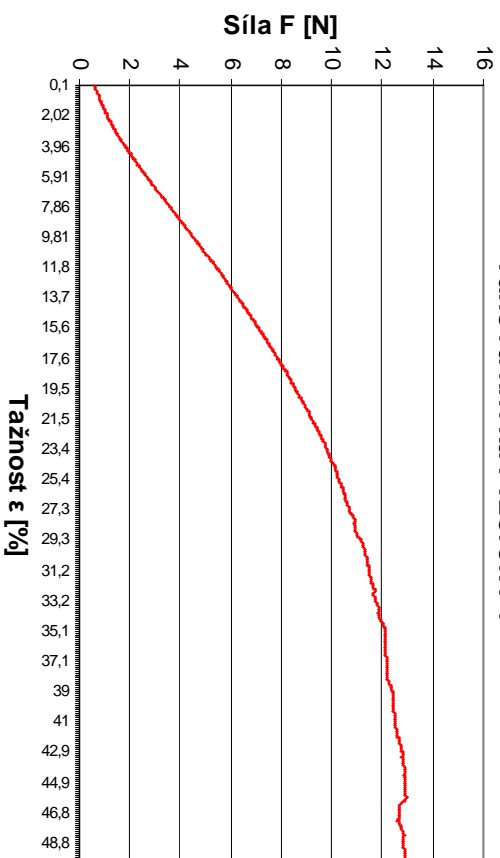
**Obr. 37:** Tahová křivka

Výsledky měření byly zpracovány programem Microsoft Excel a jsou uvedeny v příloze č 3. V tabulce číslo 6 jsou průměrné hodnoty maximální síly  $F_{\max}$ , meze pružnosti  $F_p$ , tažnosti v bodě P  $\varepsilon_p$  a sekantového modulu  $E_s$ . Následně jsou zde ukázány také průměrné tahové křivky jednotlivých vzorků (graf 5).

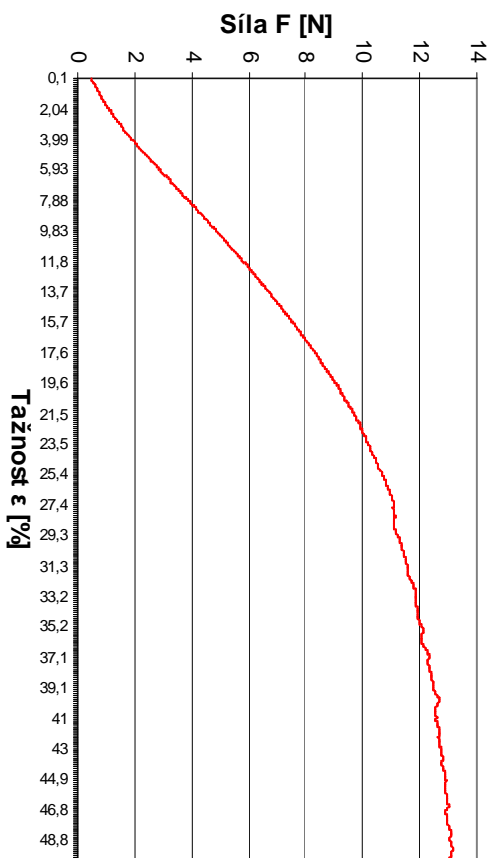
	Průměrné hodnoty						
	Maximální síla F <sub>max</sub> [N]	Mez pružnosti F <sub>p</sub> [N]		Tažnost ε [%]		Sekantový modul E <sub>s</sub> [kPa]	
		F <sub>p1</sub>	F <sub>p2</sub>	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	E <sub>s1</sub>	E <sub>s2</sub>
<b>Vzorek B</b>	8,73	2,1	6,15	5	15	155,7	151,75
Směrodatná odchylka	0,72	0,43	0,53	0	0	31,76	13,18
Variační koeficient [%]	8,21	20,4	8,68	0	0	20,4	8,68
<b>Vzorek T</b>	7,12	1,94	5,24	5	15	107,53	97,08
Směrodatná odchylka	0,4	0,34	0,47	0	0	18,77	8,71
Variační koeficient [%]	5,55	17,46	8,97	0	0	17,46	8,97
<b>Vzorek D1</b>	39,7	34,66	-	5	15	2567,61	-
Směrodatná odchylka	6,45	7,17	-	0	0	531,44	-
Variační koeficient [%]	16,24	20,7	-	0	0	20,7	-
<b>Vzorek D2</b>	92,56	79,69	-	5	15	5903,09	-
Směrodatná odchylka	22,11	17,27	-	0	0	1279,4	-
Variační koeficient [%]	23,89	21,67	-	0	0	21,67	-
<b>Vzorek P1</b>	13,71	2,29	6,85	5	15	169,41	169,25
Směrodatná odchylka	2	0,6	1,24	0	0	44,66	30,63
Variační koeficient [%]	14,57	26,36	18,09	0	0	26,36	18,09
<b>Vzorek P2</b>	13,09	2,48	7,3	5	15	183,81	180,33
Směrodatná odchylka	2,13	0,47	0,84	0	0	34,9	20,83
Variační koeficient [%]	16,3	18,98	11,55	0	0	18,98	11,55
<b>Vzorek M</b>	67,64	7,84	41,85	5	15	580,5	1033,26
Směrodatná odchylka	5,26	3,05	10,22	0	0	225,73	252,35
Variační koeficient [%]	7,77	38,89	24,42	0	0	38,89	24,42
<b>Vzorek X</b>	17,84	3,88	9,77	5	15	287,47	241,29
Směrodatná odchylka	0,77	0,49	0,82	0	0	35,98	20,36
Variační koeficient [%]	4,33	12,52	8,44	0	0	12,52	8,44

**Tab. 6:** Výsledky tahové zkoušky

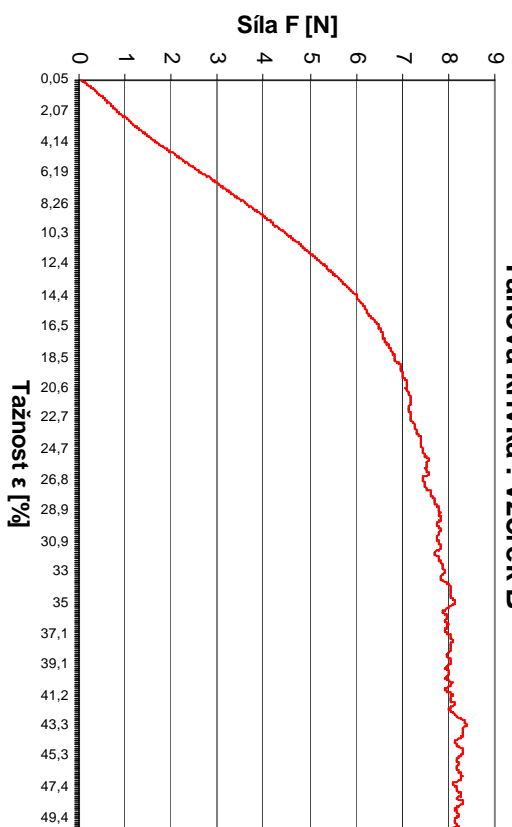
Tahová křivka : Vzorek P1



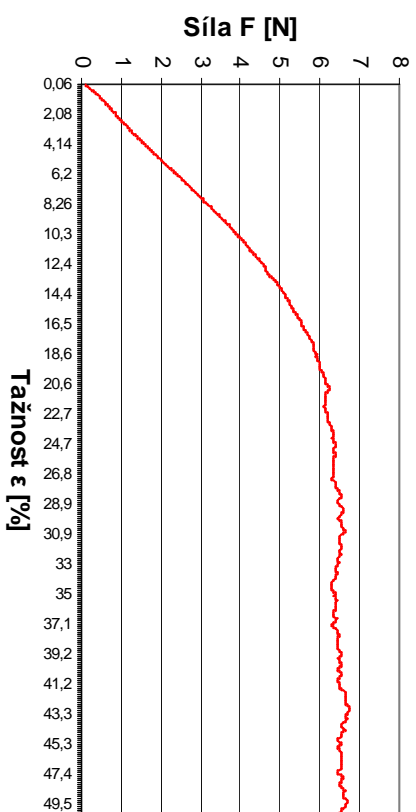
Tahová křivka : Vzorek P2



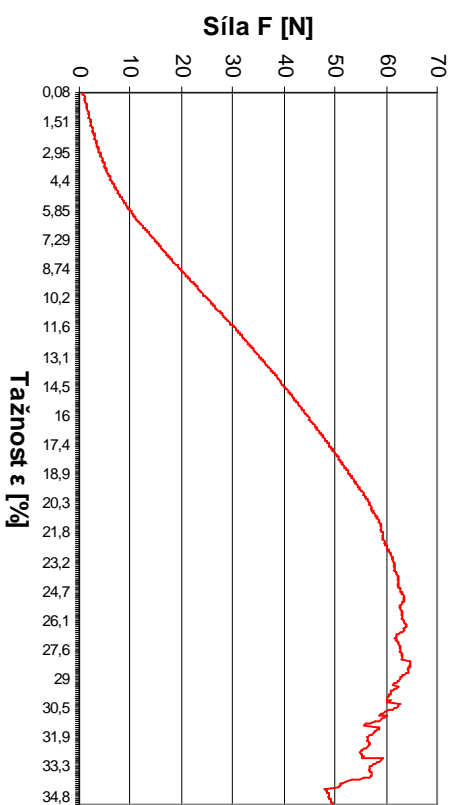
Tahová křivka : Vzorek B



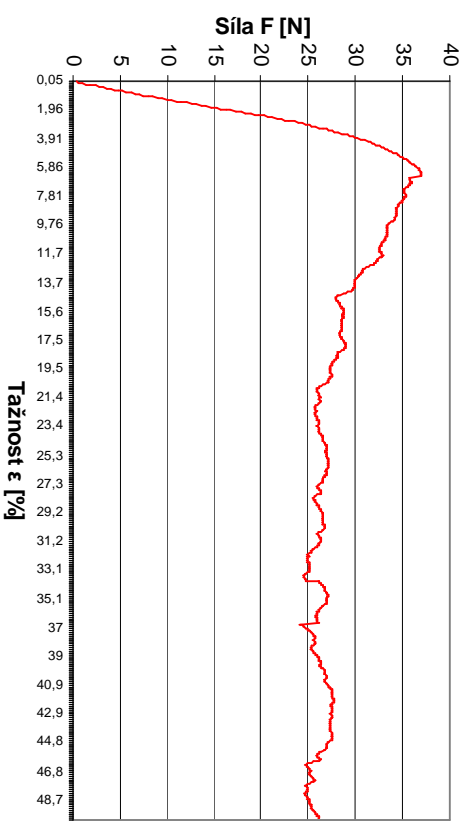
Tahová křivka : Vzorek T



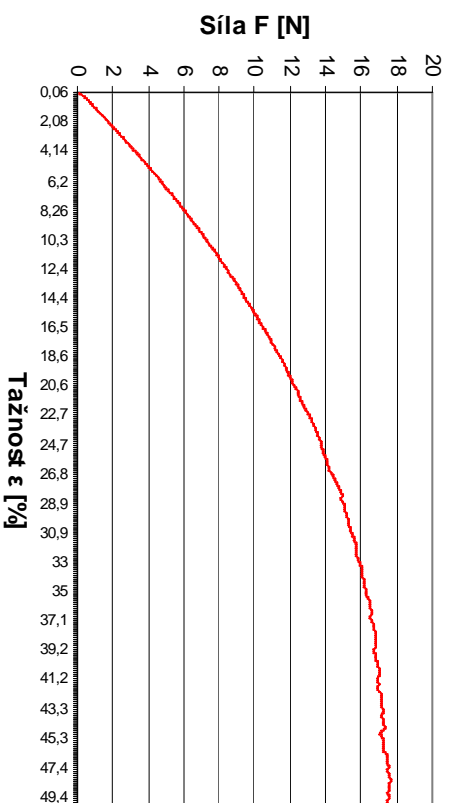
**Tahová křivka : Vzorek M**



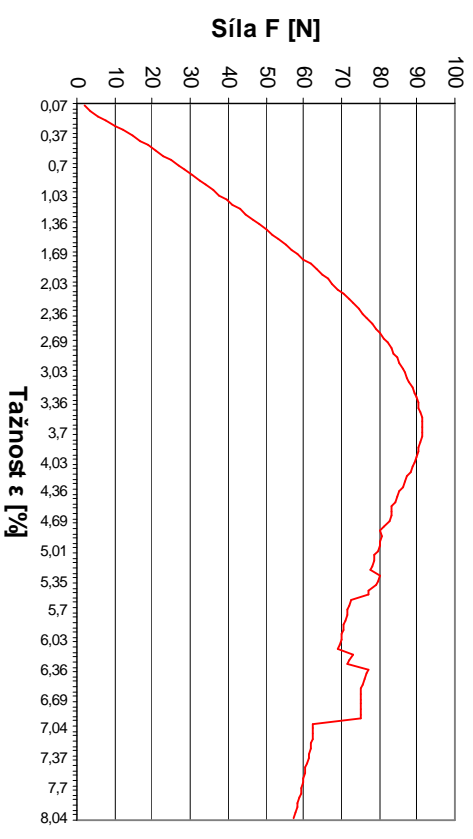
**Tahová křivka : Vzorek D1**



**Tahová křivka : Vzorek X**



**Tahová křivka : Vzorek D2**



*Graf 5: Průměrné tahové křivky vzorků: B, T, X, D1, D2, M, P1, P2*

### ***Diskuze k naměřeným hodnotám***

Z tabulky 6 a z tahových křivek (graf 5) je vidět že nejvyšších hodnot maximální síly a sekantového modulu při tažnosti 5 % dosahovaly vzorky upravené aplikací zpěněné disperze (D1 a D2) a armovací mřížky (M). U těchto vzorků následoval po dosažení maximální síly její náhlý pokles. V případě vzorku M je to dáno tím, že praskla armovací mřížka, u D1 a D2 se porušil první sklad struktury, který praskl náraz. Vzorky D1 a D2 se zásadně porušily ještě než jejich tažnost dosáhla 15 % a proto u nich nebyl sekantový modul při této tažnosti počítán. U ostatních vzorků se sklady struktury s narůstající silou porušovaly velmi pozvolna.

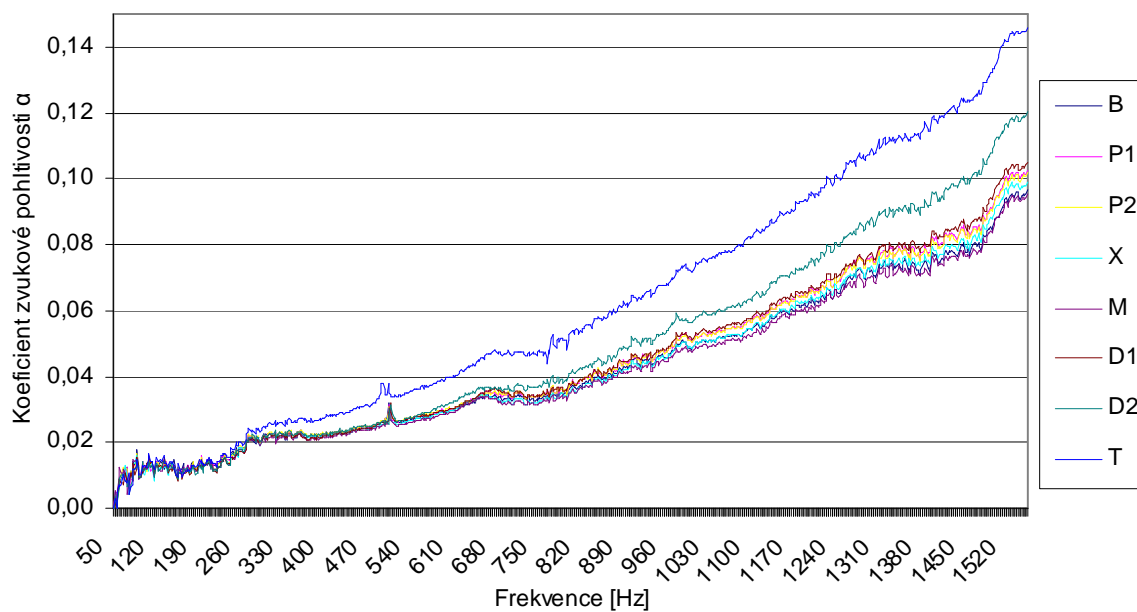
Vzorky upravené aplikací termoplastického prášku (P1 a P2) vykazaly velmi malý sekantový modul pružnosti, což je dáno jejich vysokou tažností. Tažnost se také oproti režným vzorkům (B) zvýšila u vzorků s dvojnásobným zpevněním povrchu (X) a s armovací mřížkou (M). Naopak jednoznačně nejnižší tažnost při přetrhu mají vzorky upravené disperzí. Hodnoty sekantového modulu jsou u všech vzorků (s výjimkou vzorku M) při 5 % a 15 % téměř shodné.

#### **3.2.4. Měření pohltivosti zvuku**

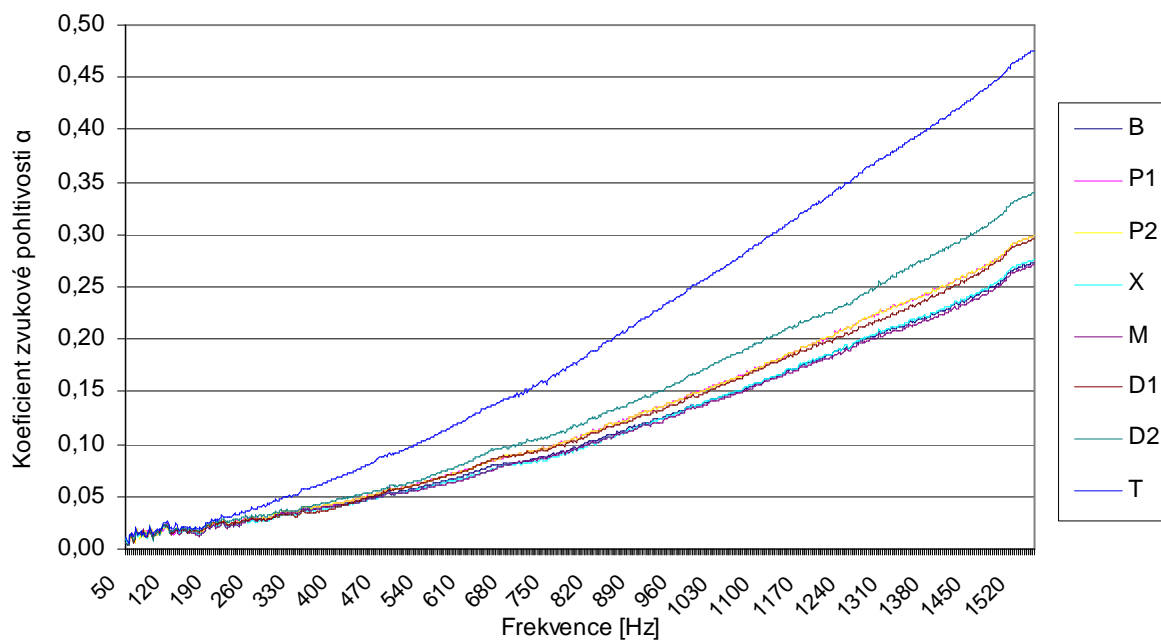
Pro měření zvukové pohltivosti byla použita dvoumikrofonová impedanční trubice Brüel & Kjær typ 4206 (2.6.2.4.). K tomuto přístroji je napojen počítač, na kterém je provozován dodávaný software Material Testing. Měření bylo provedeno na katedře průmyslové dopravy TU Liberec.

Byly použity vzorky o průměru 100 mm Vzorky byly měřeny v 1, 2 a 3 vrstvách ve frekvenčním rozsahu 50-1600 Hz. Po každé změně tloušťky vzorků, musel být přístroj zkalibrován. Od každého materiálu bylo měřeno 5 vzorků. Získané hodnoty byly pomocí měřicího softwaru převedeny a graficky zpracovány v programu Excel.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č.4. Průběhy závislosti koeficientu  $\alpha$  na frekvenci jsou vidět v grafech 6, 7 a 8.

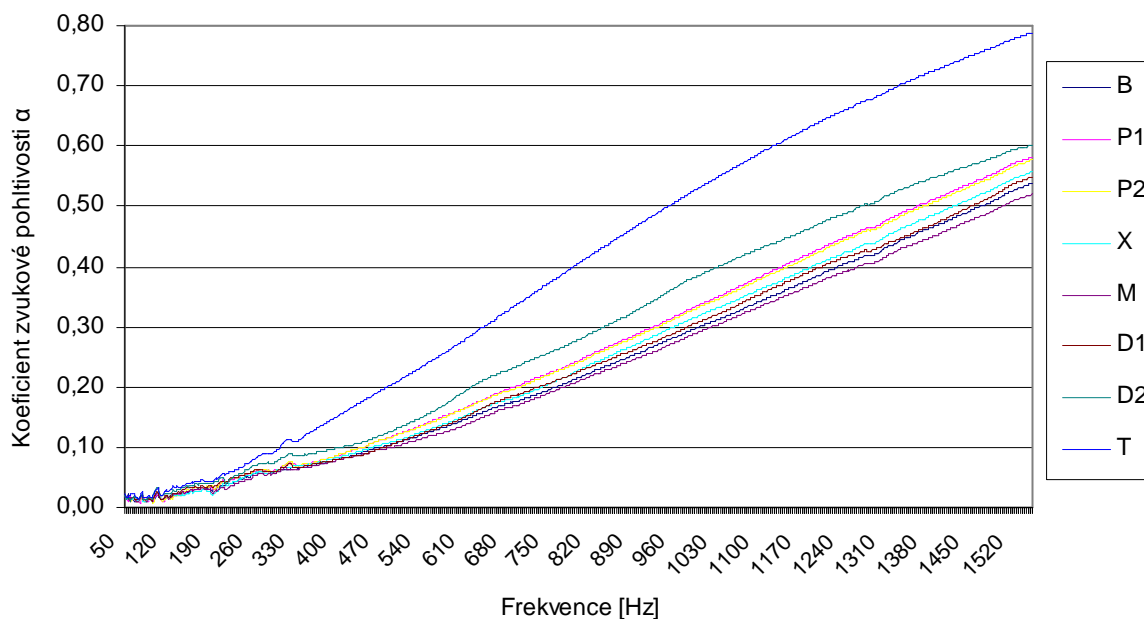


**Graf 6:** Závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci – 1 vrstva



**Graf 7:** Závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci – 2 vrstvy





**Graf 8:** Závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci – 3 vrstvy

#### **Diskuze k naměřeným hodnotám**

Z grafů je zřetelně vidět závislost koeficientu zvukové pohltivosti  $\alpha$  v závislosti na měnící se frekvenci a tloušťce vzorku. Naměřené výsledky lze pomocí jednotlivých grafů velice dobře srovnávat. Nejvyšších hodnot koeficientu zvukové pohltivosti dosáhly vzorky s vyšší tloušťkou (T). Z úprav má na zvýšení koeficientu  $\alpha$  největší vliv úprava aplikací zpěněné disperze (D2), následně pak úpravy aplikací termoplastického prášku (P1 a P2). Naopak v případě aplikace armovací mřížky koeficient  $\alpha$  mírně poklesl. Ostatní úpravy nemají na koeficient  $\alpha$  výraznější vliv.

## **4. Shrnutí získaných informací**

Diplomová práce se zabývá vůbec prvním měřením a testováním vlastností nového produktu. Ze získaných informací je patrné, že vlastnosti produktu se značně liší od vlastností jiných materiálů popsaných v kapitolách 2.1., 2.2. a 2.3., které lze také použít jako sendvičové jádro do kompozitů. Vlastnosti nového produktu lze jen obtížně s těmito materiály srovnávat.

#### **Tloušťka**

Tloušťka produktu je srovnatelná s distančními pleteninami i se skládanými voštinovými bloky, ale je nižší než u propletů „Kunit“ a „Multiknit“ a kolmo kladených textilií.

### ***Plošná a objemová hmotnost***

Jelikož se při výrobě produktu používají polotovary o poměrně vysoké plošné hmotnosti, je plošná a objemová hmotnost produktu také vysoká a to vyšší než u výrobků zmíněných v kapitolách 2.1. až 2.3.

### ***Ohybové vlastnosti***

Ohybové vlastnosti produktu jsou nižší než v případě skládaných voštinových bloků a vyšší než u ostatních výše popsanych textilních materiálů. Z pohledu tvarování sendvičových výrobků lze za nevýhodu považovat i poměr ohybových vlastností produktu v příčném a podélném směru. Ideální poměr by byl 1:1, kdy je materiál na 100 % izotropní. V našem případě je ale poměr přibližně 2:1.

### ***Kompresní vlastnosti***

Kompresní vlastnosti jsou odlišné od voštinových bloků, a to nižší, ale vyšší než u textilních materiálů. Při stlačování se voštinová struktura po překročení meze vzpěru zbortí naráz, u nového produktu se struktura bortí pozvolna a odpor vzrůstá až do maximálního stlačení. Pro účely sendvičových jader je nový produkt použitelný pouze pokud je délka vlny  $\lambda$  rovna nebo se blíží dvojnásobku tloušťky produktu  $\lambda \cong 2T$ . Pokud je  $\lambda$  větší je produkt velmi měkký.

### ***Pohltivost zvuku***

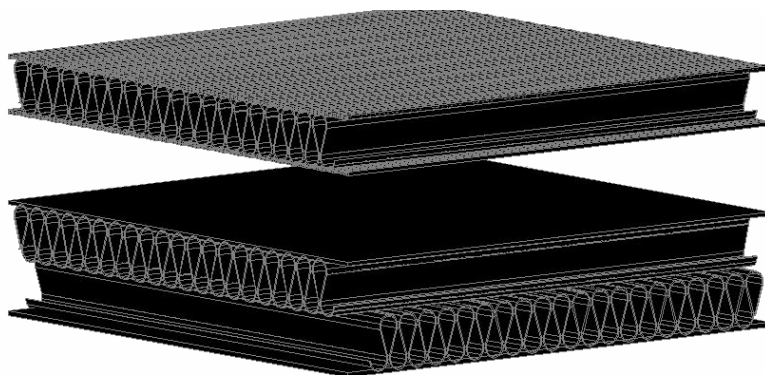
Pohltivost zvuku je srovnatelná textilními materiály (proplety „Kunit“ a „Mutiknit“, kolmo kladené textilie), a je výrazně vyšší než u skládaných voštinových bloků a distančních pletenin.

### ***Pevnost v tahu***

Pevnost v tahu je důležitá pouze pro zpracovatelskou (technologickou) pevnost, rozhodující pevnost se měří až u konečného kompozitu (sendviče). Produkt je při namáhání silně anizotropní. Ve směru podélném je pevnost v tahu poměrně nízká, v příčném směru je velmi vysoká (minimálně o dva řády vyšší).

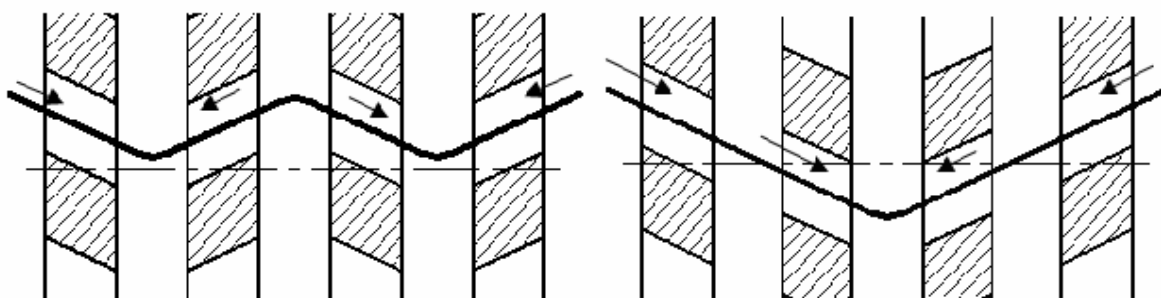
*Doporučení jak odstranit rozdíl mezi podélnými a příčnými vlastnostmi:*

1. Při laminaci použít materiál povrchových vrstev takový, který má v obou směrech také rozdílné vlastnosti a laminaci provést křížením (viz obr. 38)
2. Výrazně zvýšit počet kvazi-přízí.
3. Vyrábět jádro ze dvou vrstev a ty poté křížem laminovat k sobě (viz obr.38).



**Obr. 38:** Křížená laminace dvou vrstev jádra [20]

4. Modelovat profil ozubení tvarovacích kol tak aby zuby nebyly v jedné rovině (viz. Obr 39).



**Obr. 39:** Změna profilu ozubení tvarovacích kol [20]

### ***Výrobní technologie***

Výrobní technologie je složitostí a rychlostí srovnatelná s kolmo kladenými textiliemi a je jednodušší než u skládaných voštinových bloků. V porovnání s distančními pleteninami je nová výrobní technologie řádově rychlejší.

### ***Vliv úprav na vlastnosti produktu***

Největší vliv na všechny testované vlastnosti měla úprava aplikací zpěněné disperze (vzorky D1 a D2). Po této úpravě se všechny testované vlastnosti produktu výrazně zlepšily. Naopak se ale zvýšila i objemová hmotnost produktu. Pevnost v tahu se přibližně osminásobně zlepšila v případě aplikace armovací mřížky, dvojnásobně u zvýšeného počtu kvazi-přízí a mírně i u aplikace termoplastického prášku. Na ohybovou tuhost, kompresní vlastnosti a zvukovou pohltivost měly úpravy, s výjimkou aplikace disperze, jen velmi malý vliv. Při testování ohybových vlastností se aplikované úpravy na poměru vlastností produktu v podélném a příčném směru (1:2) také nikterak neprojeví a poměr zůstal přibližně stejný.

### ***Poznámka:***

Testy pro sendvičové jádro by mely být prováděny na hotovém kompozitu, neboť vnější vrstvy přilaminované k jádru přidají výrobku další užité vlastnosti.

## 5. Závěr

V této diplomové práci byly zjišťovány první informace o vlastnostech nového produktu vyrobeného podle PV 2007-293. Práce obsahuje také informace, které umožňují uvažovat o možnostech aplikace produktu jako sendvičového jádra pro kompozity užívané v automobilovém průmyslu. A to zejména informace o pevnosti, ohybové tuhosti, kompresních vlastnostech a zvukové pohltivosti.

V teoretické části jsou uvedeny poznatky o materiálech dnes používaných jako sendvičová jádra. V této části jsou také navrženy úpravy, u kterých se předpokládá, že povedou ke zlepšení především mechanických vlastností produktu a způsob testování těchto vlastností. V praktické části byly navrhované úpravy aplikovány na produkt. Následně byly upravené vzorky testovány a srovnávány se vzorkem rezným.

Ze čtyř úprav se nejvýrazněji projevila úprava aplikací zpěněné disperze (D1 a D2) a to tak že:

- ohybová tuhost se zvýšila u D1 15-krát a u D2 48-krát oproti reznému produktu
- odpor proti stlačení se zvýšil u D1 3,7-krát a u D2 4,6-krát oproti reznému produktu
- pevnost v tahu se zvýšila u D1 17-krát a u D2 38-krát oproti reznému produktu
- pohltivost zvuku se zvýšila u D1 1,3-krát a u D2 1,5 krát oproti reznému produktu.

Kromě těchto příznivých aspektů ale stoupla i hmotnost produktu a to v případě D1 o 44,7 % a u D2 o 104,6 %. Ostatní úpravy měly na zjišťované vlastnosti produktu jen velmi malý vliv.

Z výsledků získaných v této práci lze konstatovat, že vhodnými úpravami lze připravit produkt, použitelný jako sendvičové jádro pro výrobu kompozitu. K dokonalejšímu posouzení použitelnosti je však třeba otestovat také zpracovatelské vlastnosti jádra v technologii výroby kompozitu. Pro aplikaci kompozitu s tímto jádrem doporučuji proměřit kompozit jako celek.

### *Seznam použité literatury*

- [1] Hanuš J., Netkané technické textilie s vertikálně orientovanými makroelementy struktury.
- [2] Pat.AO 269300. Krčma, R., Hýbl, J., Jirsák, O., Hanzl, J.: Zařízení na výrobu objemné vláknenné vrstvy.
- [3] Jirsák, O., Kalinová, K.,: Netkané textilie., Skripta TU Liberec, 2003;
- [4] W.Albrecht, H.Fuchs, W.Kittelmann: Nonwoven Fabrics-Raw Materials, Manufacture, Applications, Testing Processes, WILEY-VCH Verlag GmbH, 2003;
- [5] Pflug J., Xinyu F., Vangrimde B., Verpoest I., Bratfisch P.: Development of a sandwich material with polypropylene/natural fibre skins and paper honeycomb core, K.U. Leuven;
- [6] Pflug J., Verpoest I., Bratfisch P., Vandepitte D.: Thermoplastic Folded Honeycomb Cores – Cost Efficient, Production of All Thermoplastic Sandwich Panels, K.U. Leuven
- [7] Pflug J., Verpoest I., Vandepitte D.: FOLDED HONEYCOMBS, Fast and continuous production of the core and a reliable core-skin bond, K.U. Leuven
- [8] Seidl R.J.,: Paper Honeycomb Cores for Structural Sandwich Panels, University of Wisconsin
- [9] Hanuš J., Ševčík L., Konečný M., Rydlo P., Diblík M.,: Průběžná zpráva o realizaci projektu ISRN TUL – VCT2/A(TS) – 07/01/CZ – CZ+Linka.3D za rok 2007, TU Liberec, 2007;
- [10] NORMA EDANA 40.3-90.
- [11] NORMA ČSN 80 0845.
- [12] Mevald J.,: Pružnost a pevnost pro textilní inženýry, Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1984, 257 s.
- [13] NORMA ČSN EN ISO 3386-1.
- [14] Karl Mayer, MALIMO, Manufacture of fabrics for automotive interior using the Warp Knitting und Stitchbonding process, 1993
- [15] Kalinová K., Novák J.,: Měření akustické pohltivosti, TU Liberec
- [16] Kovačič V.: Textilní zkušebnictví, Skripta TU Liberec, 2004
- [17] Lenfeldová I.: Speciální pletářské výroby, Osnovní oboulící pleteniny, výroba, struktura a použití, FT, TUL, Liberec 2007

- [18] LIBA Maschinenfabrik GmbH: [http://www.liba.de/raschel/rac\\_15\\_allg.htm](http://www.liba.de/raschel/rac_15_allg.htm)
- [19] Propagační materiál firmy KARL MAYER: Double needle bar raschel machine RD6/RD7 for fine and technical spacer fabrics
- [20] Jaroslav Hanuš, Ladislav Ševčík, Martin Konečný, Pavel Rydlo, Martin Diblík: Textile Sandwich Core, Feasibility Study - Base for Discussion

## *Seznam obrázků*

Obr. 1: Sendvičová jádra: a) dřevěné, b) pěnové, c) voštinový blok, d) vlnkovité, e) textilní.....	15
Obr. 2: Postup výroby voštinových bloků lepením.....	16
Obr. 3: Postup výroby voštinových bloků z vlnkovitých archů .....	16
Obr. 4: Postup výroby TorHex voštinových bloků .....	17
Obr. 5: Profil vytvořený: a) vakuovým lisováním, b) hlubokým tažením.....	18
Obr. 6: Rotační tvarovací proces.....	18
Obr. 7: Místa spojení ThermHex bloku .....	18
Obr. 8: Výroba FlodHex voštinového bloku .....	19
Obr. 9: Pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě u různých materiálů.....	20
Obr. 10: Aplikace sendvičových materiálů v automobilu .....	21
Obr. 11: Sendvičový panel s voštinovým blokem a krycími vrstvami z polypropylenu a přírodních vláken .....	21
Obr. 12: Výroba distanční pleteniny .....	22
Obr. 13: Dvoulůžkový rašl LIBA DG 506 – 15 .....	23
Obr. 14.: Distanční pleteniny .....	23
Obr. 15: Řez kolmo kladenou textilií .....	25
Obr. 16: Geometrie struktury produktu.....	26
Obr. 17: Vibrační kolmý kladeč pavučiny .....	26
Obr. 18: Schéma rotačního kolmého kladeče pavučiny .....	27
Obr. 19: Model struktury zpevněné kvazi-přízemí.....	29
Obr. 20: Fotografie struktury spojené kvazi-přízemí.....	29
Obr. 21: Technologie ROTIS.....	30
Obr. 22: Struktura „KUNIT“ a „MULTIKNIT“ .....	30
Obr. 23: Technologie „KUNIT“ a „MULTIKNIT“ .....	31
Obr. 24: Mechanismus tvorby skladu .....	33
Obr. 25: Mechanismus pro výrobu produktu PV 2007-293 .....	34
Obr. 26: Geometrie skladu .....	35
Obr. 27: Mixer pro přípravu pěny .....	38
Obr. 28: Schéma pěny .....	39
Obr. 29: Práškovací zařízení .....	41
Obr. 30: Znázornění zkoušky ohybem .....	44
Obr. 31: Znázornění zkoušky kompresí .....	46
Obr. 32: Znázornění zkoušky tahem .....	47
Obr. 33: Tahová křivka .....	48
Obr. 34: Dvoumikrofonová impedanční trubice .....	49
Obr. 35: Zařízení, na kterém byly vyrobeny vzorky .....	50
Obr. 36: Úprava povrchu nanášením disperze .....	52
Obr. 37: Tahová křivka .....	59
Obr. 38: Křížená laminace dvou vrstev jádra.....	67
Obr. 39: Změna profilu ozubení tvarovacích kol.....	67

## ***Seznam tabulek***

Tab. 1: Naměřené hodnoty ohybových vlastností .....	20
Tab. 2: Technologické parametry a parametry produktu .....	51
Tab. 3: Označení a parametry zkušebních vzorků.....	53
Tab. 4: Výsledky měření ohybových vlastností .....	54
Tab. 5: Výsledky měření kompresních vlastností .....	57
Tab. 6: Výsledky tahové zkoušky .....	60

## ***Seznam grafů***

Graf 1: Průměrné hodnoty ohybové tuhosti v příčném směru.....	55
Graf 2: Průměrné hodnoty ohybové tuhosti v podélném směru.....	55
Graf 3: Závislost síly na stlačení – 1 vrstva .....	57
Graf 4: Závislost síly na stlačení – 2 vrstvy .....	58
Graf 5: Průměrné tahové křivky vzorků: B, T, X, D1, D2, M, P1, P2 .....	62
Graf 6: Závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci – 1 vrstva.....	64
Graf 7: Závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci – 2 vrstvy.....	64
Graf 8: Závislost koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci – 3 vrstvy.....	65

## ***Seznam příloh***

Příloha č.1 : Výsledky měření ohybových vlastností.....	2
Tabulka 7.:Výsledky měření ohybových vlastností materiálu B.....	2
Tabulka 8.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu T.....	2
Tabulka 9.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu D1 .....	3
Tabulka 10.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu D2 .....	3
Tabulka 11.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu P1 .....	4
Tabulka 12.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu P2 .....	4
Tabulka 13.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu M.....	5
Tabulka 14.: Výsledky měření ohybových vlastností materiálu X .....	5
Příloha č. 2 : Výsledky měření kompresních vlastností.....	6
Tabulka 15.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu B.....	6
Tabulka 16.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu T .....	6
Tabulka 17.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu D1.....	7
Tabulka 18.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu D1.....	7
Tabulka 19.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu P1 .....	8
Tabulka 20.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu P2 .....	8
Tabulka 21.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu M.....	8
Tabulka 22.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu X.....	9
Graf 9.: Odpor proti stlačení C [kPa] u jednotlivých materiálů při stlačení o 70 % - 1 vrstva.....	9
Graf 10.: Odpor proti stlačení C [kPa] u jednotlivých materiálů při stlačení o 70 % - 2 vrstvy .....	10



Příloha č. 3 : Výsledky měření pevnosti v tahu .....	11
Tabulka 23.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu B .....	11
Tabulka 24.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu T.....	11
Tabulka 25.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu D1 .....	12
Tabulka 26.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu D2 .....	12
Tabulka 27.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu P1 .....	13
Tabulka 28.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu P2.....	13
Tabulka 29.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu X .....	14
Tabulka 30.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu M .....	14
Graf 11.: Maximální síla .....	15
Graf 12.: Sekantový modul pružnosti při tažnosti $\varepsilon = 5\%$ .....	15
Graf 13.: Sekantový modul pružnosti při tažnosti $\varepsilon = 15\%$ .....	15
 Příloha č. 4 : Výsledky měření zvukové pohltivosti .....	 16
Tabulka 31.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu B .....	16
Tabulka 32.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu T .....	16
Tabulka 33.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu D1.....	17
Tabulka 34.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu D2.....	17
Tabulka 35.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu P1 .....	18
Tabulka 36.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu P2 .....	18
Tabulka 37.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu M .....	19
Tabulka 38.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu X.....	19

## **PŘÍLOHY**

## **Příloha č.1 : Výsledky měření ohybových vlastností**

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek B					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m <sup>-1</sup> ]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	0,36	-	15	15	24,00	-
2	0,36	-	15	15	24,00	-
3	0,38	-	15	15	25,33	-
4	0,33	-	15	15	22,00	-
5	0,38	-	15	15	25,33	-
6	0,36	-	15	15	24,00	-
7	0,41	-	15	15	27,33	-
8	0,43	-	15	15	28,67	-
9	0,33	-	15	15	22,00	-
10	0,39	-	15	15	26,00	-
Průměr	0,37	-	15	15	24,87	-
Směrodatná odchylka	0,03	-	0	0	2,13	-
Variační koeficient [%]	8,58	-	0	0	8,58	-

**Tabulka 7.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu B

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek T					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	0,9	0,29	15	15	60,00	19,33
2	0,85	0,25	15	15	56,67	16,67
3	0,95	0,25	15	15	63,33	16,67
4	0,98	0,32	15	15	65,33	21,33
5	0,87	0,28	15	15	58,00	18,67
6	0,84	0,26	15	15	56,00	17,33
7	0,96	0,28	15	15	64,00	18,67
8	1,02	0,3	15	15	68,00	20,00
9	0,88	0,26	15	15	58,67	17,33
10	0,92	0,27	15	15	61,33	18,00
Průměr	0,92	0,28	15	15	61,13	18,40
Směrodatná odchylka	0,06	0,02	0	0	3,96	1,51
Variační koeficient [%]	6,48	8,23	0	0	6,48	8,23

**Tabulka 8.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu T

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek D1					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m <sup>-1</sup> ]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	4,94	2,87	15	15	329,33	191,33
2	13,66	3,82	15	15	910,67	254,67
3	4,79	2,87	15	15	319,33	191,33
4	3,37	2,56	15	15	224,67	170,67
5	3,9	3,24	15	15	260,00	216,00
6	4,07	1,77	15	15	271,33	118,00
7	3,98	1,79	15	15	265,33	119,33
8	4,63	2,01	15	15	308,67	134,00
9	4,42	2,62	15	15	294,67	174,67
10	9,77	1,9	15	15	651,33	126,67
Průměr	5,75	2,55	15	15	383,53	169,67
Směrodatná odchylka	3,31	0,68	0	0	220,41	45,53
Variační koeficient [%]	57,47	26,84	0	0	57,47	26,84

**Tabulka 9.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu D1

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek D2					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m <sup>-1</sup> ]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	17,76	9,76	15	15	1184,00	650,67
2	8,55	6,65	15	15	570,00	443,33
3	7,07	4,46	15	15	471,33	297,33
4	10,04	5,18	15	15	669,33	345,33
5	24,31	5,64	15	15	1620,67	376,00
6	17,88	8,7	15	15	1192,00	580,00
7	16,13	8,12	15	15	1075,33	541,33
8	41,3	10,32	15	15	2753,33	688,00
9	21,97	9,41	15	15	1464,67	627,33
10	18,15	9,21	15	15	1210,00	614,00
Průměr	18,32	7,75	15	15	1221,07	516,33
Směrodatná odchylka	9,85	2,10	0	0	656,66	139,95
Variační koeficient [%]	53,78	27,10	0	0	53,78	27,10

**Tabulka 10.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu D2

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek P1					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	0,32	-	15	15	21,33	-
2	0,39	-	15	15	26,00	-
3	0,4	-	15	15	26,67	-
4	0,36	-	15	15	24,00	-
5	0,44	-	15	15	29,33	-
6	0,32	-	15	15	21,33	-
7	0,41	-	15	15	27,33	-
8	0,45	-	15	15	30,00	-
9	0,43	-	15	15	28,67	-
10	0,43	-	15	15	28,67	-
Průměr	0,40	-	15	15	26,33	-
Směrodatná odchylka	0,05	-	0	0	3,16	-
Variační koeficient [%]	12,01	-	0	0	12,01	-

**Tabulka 11.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu P1

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek P2					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	0,32	-	15	15	21,33	-
2	0,32	-	15	15	21,33	-
3	0,33	-	15	15	22,00	-
4	0,36	-	15	15	24,00	-
5	0,37	-	15	15	24,67	-
6	0,35	-	15	15	23,33	-
7	0,45	-	15	15	30,00	-
8	0,36	-	15	15	24,00	-
9	0,36	-	15	15	24,00	-
10	0,38	-	15	15	25,33	-
Průměr	0,36	-	15	15	24,00	-
Směrodatná odchylka	0,04	-	0	0	2,51	-
Variační koeficient [%]	10,48	-	0	0	10,48	-

**Tabulka 12.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu P2

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek M					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	0,61	0,36	15	15	40,67	24,00
2	0,54	0,37	15	15	36,00	24,67
3	0,58	0,37	15	15	38,67	24,67
4	0,57	0,32	15	15	38,00	21,33
5	0,57	0,33	15	15	38,00	22,00
6	0,65	0,34	15	15	43,33	22,67
7	0,59	0,29	15	15	39,33	19,33
8	0,59	0,3	15	15	39,33	20,00
9	0,55	0,3	15	15	36,67	20,00
10	0,62	0,32	15	15	41,33	21,33
Průměr	0,59	0,33	15	15	39,13	22,00
Směrodatná odchylka	0,03	0,03	0	0	2,20	1,96
Variační koeficient [%]	5,62	8,92	0	0	5,62	8,92

**Tabulka 13.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu M

Vzorek	Naměřené hodnoty - vzorek X					
	Síla F [N]		Průhyb Y [mm]		Ohybová tuhost [N.m]	
	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně
1	0,54	0,26	15	15	36,00	17,33
2	0,59	0,24	15	15	39,33	16,00
3	0,61	0,26	15	15	40,67	17,33
4	0,65	0,25	15	15	43,33	16,67
5	0,54	0,27	15	15	36,00	18,00
6	0,51	0,23	15	15	34,00	15,33
7	0,52	0,22	15	15	34,67	14,67
8	0,49	0,18	15	15	32,67	12,00
9	0,5	0,29	15	15	33,33	19,33
10	0,52	0,25	15	15	34,67	16,67
Průměr	0,55	0,25	15	15	36,47	16,33
Směrodatná odchylka	0,05	0,03	0	0	3,50	2,02
Variační koeficient [%]	9,60	12,36	0	0	9,60	12,36

**Tabulka 14.:** Výsledky měření ohybových vlastností materiálu X

## **Příloha č. 2 : Výsledky měření kompresních vlastností**

Vzorek	Materiál B					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	777,29	954,75	70	70	99,02	121,62
2	794,47	911,79	70	70	101,21	116,15
3	824,98	931,96	70	70	105,09	118,72
4	826,57	938,14	70	70	105,30	119,51
5	780,08	960,67	70	70	99,37	122,38
6	842,30	-	70	-	107,30	-
7	754,26	-	70	-	96,08	-
8	790,91	-	70	-	100,75	-
9	782,23	-	70	-	99,65	-
10	805,58	-	70	-	102,62	-
Průměr	797,87	939,46	70	70	101,64	119,68
Směrodatná odchylka	26,95	19,41	0	0	3,43	2,47
Variační koeficient [%]	3,38	2,07	0	0	3,38	2,07

**Tabulka 15.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu B**

Vzorek	Materiál T					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	1354,17	917,22	70	70	172,51	116,84
2	1436,85	918,91	70	70	183,04	117,06
3	1419,53	928,75	70	70	180,83	118,31
4	1407,40	920,39	70	70	179,29	117,25
5	1357,06	985,43	70	70	172,87	125,53
6	1354,38	-	70	-	172,53	-
7	1353,92	-	70	-	172,47	-
8	1573,53	-	70	-	200,45	-
9	1378,76	-	70	-	175,64	-
10	1346,98	-	70	-	171,59	-
Průměr	1398,26	934,14	70	70	178,12	119,00
Směrodatná odchylka	69,35	29,01	0	0	8,83	3,70
Variační koeficient [%]	4,96	3,11	0	0	4,96	3,11

**Tabulka 16.: Výsledky měření kompresních vlastností materiálu T**

Vzorek	Materiál D1					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	3312,84	4175,74	70	70	422,02	531,94
2	2787,74	4182,37	70	70	355,13	532,79
3	2738,64	4424,54	70	70	348,87	563,64
4	2680,12	3630,57	70	70	341,42	462,49
5	2673,38	4235,70	70	70	340,56	539,58
6	3069,39	-	70	-	391,00	-
7	3332,76	-	70	-	424,56	-
8	3168,36	-	70	-	403,61	-
9	2778,11	-	70	-	353,90	-
10	2926,82	-	70	-	372,84	-
Průměr	2946,82	4129,78	70	70	375,39	526,09
Směrodatná odchylka	256,13	296,73	0	0	32,63	37,80
Variační koeficient [%]	8,69	7,19	0	0	8,69	7,19

**Tabulka 17.:** Výsledky měření kompresních vlastností materiálu D1

Vzorek	Materiál D2					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70 % C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	3039,76	-	50	50	387,23	429,39
2	4524,36	-	50	50	576,35	516,25
3	3462,56	-	50	50	441,09	493,55
4	2883,40	-	50	50	367,31	574,62
5	4367,86	-	50	50	556,42	479,82
6	4239,44	-	50	-	540,06	-
7	4030,94	-	50	-	513,50	-
8	3581,82	-	50	-	456,28	-
9	3875,14	-	50	-	493,65	-
10	2628,55	-	50	-	334,85	-
Průměr	3663,38	3915,01	50	50	466,67	498,73
Směrodatná odchylka	655,28	416,47	0	0	83,47	53,05
Variační koeficient [%]	17,89	10,64	0	0	17,89	10,64

**Tabulka 18.:** Výsledky měření kompresních vlastností materiálu D1



Vzorek	Materiál P1					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	1060,88	1373,18	70	70	135,14	174,93
2	1146,42	1280,10	70	70	146,04	163,07
3	1066,00	1341,47	70	70	135,80	170,89
4	1176,15	1218,06	70	70	149,83	155,17
5	1090,19	1209,34	70	70	138,88	154,06
Průměr	1107,93	1284,43	70	70	141,14	163,62
Směrodatná odchylka	51,04	72,79	0	0	6,50	9,27
Variační koeficient [%]	4,61	5,67	0	0	4,61	5,67

**Tabulka 19.:** Výsledky měření kompresních vlastností materiálu P1

Vzorek	Materiál P2					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1	1156,75	1365,81	70	70	147,36	173,99
2	1058,41	1345,14	70	70	134,83	171,36
3	1104,27	1460,73	70	70	140,67	186,08
4	989,88	1204,37	70	70	126,10	153,42
5	1188,60	1283,98	70	70	151,41	163,56
Průměr	1099,58	1332,01	70	70	140,07	169,68
Směrodatná odchylka	78,97	95,50	0	0	10,06	12,17
Variační koeficient [%]	7,18	7,17	0	0	7,18	7,17

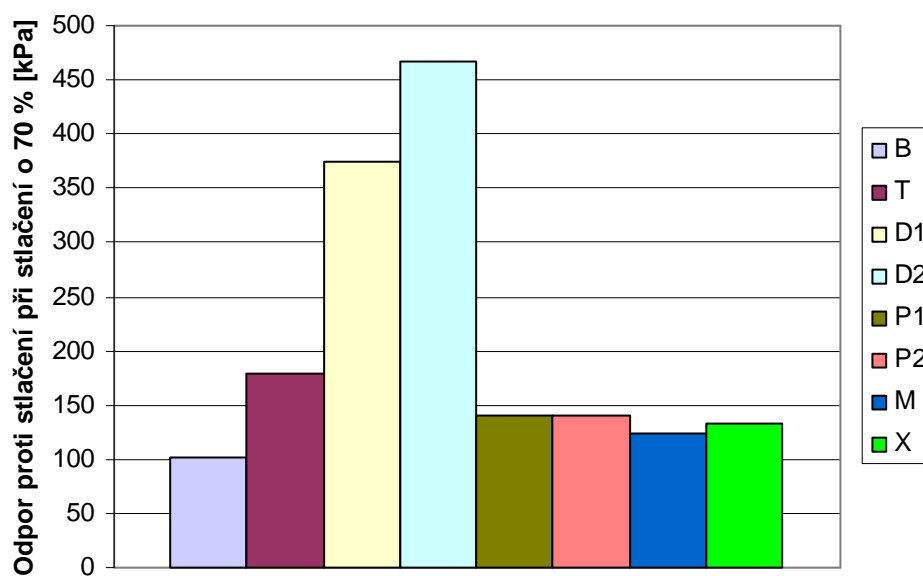
**Tabulka 20.:** Výsledky měření kompresních vlastností materiálu P2

Vzorek	Materiál M					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1,00	1045,15	1090,12	70	70	133,14	138,87
2,00	963,88	1154,78	70	70	122,79	147,11
3,00	855,46	1064,44	70	70	108,98	135,60
4,00	995,03	1046,00	70	70	126,76	133,25
5,00	928,19	1137,49	70	70	118,24	144,90
6,00	972,35	-	70	-	123,87	-
7,00	979,97	-	70	-	124,84	-
8,00	984,69	-	70	-	125,44	-
9,00	970,87	-	70	-	123,68	-
10,00	944,63	-	70	-	120,33	-
Průměr	964,02	1098,57	70	70	122,81	139,94
Směrodatná odchylka	49,20	46,57	0	0	6,27	5,93
Variační koeficient [%]	5,10	4,24	0	0	5,10	4,24

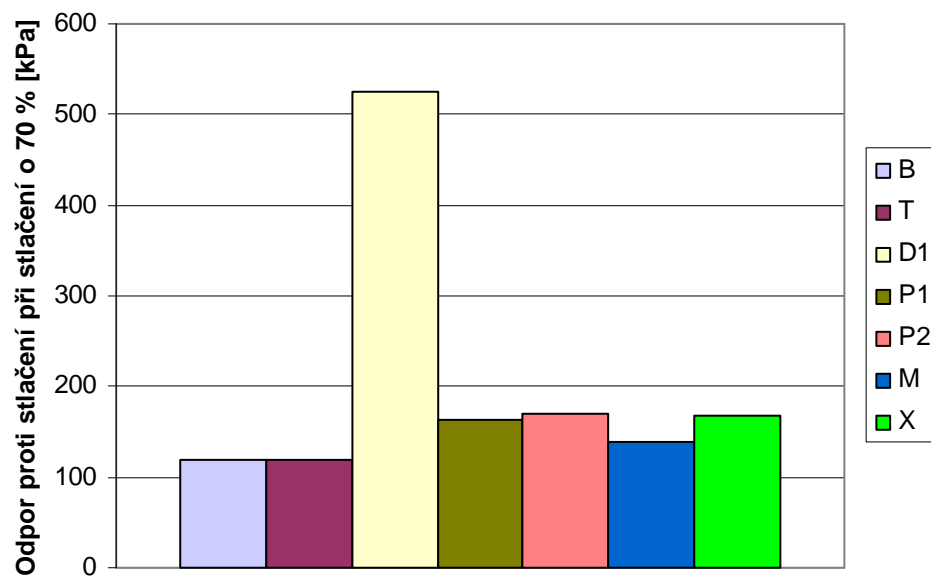
**Tabulka 21.:** Výsledky měření kompresních vlastností materiálu M

Vzorek	Materiál X					
	Síla při stlačení o 70 % F [N]		Stlačení [%]		Odpor proti stlačení při stlačení o 70% C [kPa]	
	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy	1 vrstva	2 vrstvy
1,00	1187,51	1290,05	70	70	151,27	164,34
2,00	969,63	1273,47	70	70	123,52	162,22
3,00	1129,10	1299,74	70	70	143,83	165,57
4,00	1056,37	1377,17	70	70	134,57	175,44
5,00	1003,63	1333,89	70	70	127,85	169,92
6,00	944,59	-	70	-	120,33	-
7,00	1098,87	-	70	-	139,98	-
8,00	1016,62	-	70	-	129,51	-
9,00	993,05	-	70	-	126,50	-
10,00	1002,29	-	70	-	127,68	-
Průměr	1040,17	1314,86	70	70	132,51	167,50
Směrodatná odchylka	76,72	41,24	0	0	9,77	5,25
Variační koeficient [%]	7,38	3,14	0	0	7,38	3,14

**Tabulka 22.:** Výsledky měření kompresních vlastností materiálu X



**Graf 9.:** Odpor proti stlačení C [kPa] u jednotlivých materiálů při stlačení o 70 % - 1 vrstva



**Graf 10.:** Odpor proti stlačení C [kPa] u jednotlivých materiálů při stlačení o 70 % - 2 vrstvy

### Příloha č. 3 : Výsledky měření pevnosti v tahu

Vzorek	Materiál B						
	Maximální síla Fmax [N]	Mez pružnosti Fp [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul Es [kPa]	
		Fp1	Fp2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Es1	Es2
1	8,19	2,20	6,46	5	15	162,67	159,58
2	9,95	1,91	6,15	5	15	141,78	151,83
3	8,60	2,57	6,75	5	15	190,52	166,54
4	9,41	1,88	6,09	5	15	139,41	150,27
5	8,41	2,07	5,87	5	15	153,41	144,86
6	8,41	1,91	6,09	5	15	141,78	150,27
7	9,38	2,82	6,75	5	15	209,11	166,54
8	9,26	2,51	6,68	5	15	185,93	164,99
9	7,94	1,73	5,33	5	15	127,78	131,68
10	7,81	1,41	5,30	5	15	104,59	130,91
Průměr	8,73	2,10	6,15	5	15	155,70	151,75
Směrodatná odchylka	0,72	0,43	0,53	0	0	31,76	13,18
Variační koeficient [%]	8,21	20,40	8,68	0	0	20,40	8,68

**Tabulka 23.:** Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu B

Vzorek	Materiál T						
	Maximální síla Fmax [N]	Mez pružnosti Fp [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul Es [kPa]	
		Fp1	Fp2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Es1	Es2
1	6,53	1,54	5,08	5	15	85,39	94,11
2	6,90	1,69	4,36	5	15	94,11	80,76
3	6,75	1,98	5,15	5	15	109,78	95,28
4	7,06	2,57	5,90	5	15	142,89	109,22
5	6,93	2,10	5,65	5	15	116,78	104,57
6	6,93	1,51	4,74	5	15	83,67	87,72
7	7,72	2,29	5,77	5	15	127,22	106,89
8	7,37	1,73	5,08	5	15	95,83	94,11
9	7,34	1,88	5,33	5	15	104,56	98,76
10	7,69	2,07	5,37	5	15	115,06	99,35
Průměr	7,12	1,94	5,24	5	15	107,53	97,08
Směrodatná odchylka	0,40	0,34	0,47	0	0	18,77	8,71
Variační koeficient [%]	5,55	17,46	8,97	0	0	17,46	8,97

**Tabulka 24.:** Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu T

Vzorek	Materiál D1						
	Maximální síla Fmax [N]	Mez pružnosti Fp [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul Es [kPa]	
		Fp1	Fp2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Es1	Es2
1	34,35	32,28	-	5	15	2391,26	-
2	50,92	49,54	-	5	15	3669,33	-
3	35,07	31,59	-	5	15	2340,15	-
4	31,56	30,12	-	5	15	2230,89	-
5	37,46	29,80	-	5	15	2207,63	-
6	37,46	28,99	-	5	15	2147,26	-
7	35,51	27,61	-	5	15	2044,96	-
8	46,05	38,21	-	5	15	2830,44	-
9	41,07	34,45	-	5	15	2551,56	-
10	47,59	44,05	-	5	15	3262,67	-
Průměr	39,70	34,66	-	5	15	2567,61	-
Směrodatná odchylka	6,45	7,17	-	0	0	531,44	-
Variační koeficient [%]	16,24	20,70	-	0	0	20,70	-

**Tabulka 25.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu D1**

Vzorek	Materiál D2						
	Maximální síla Fmax [N]	Mez pružnosti Fp [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul Es [kPa]	
		Fp1	Fp2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	Es1	Es2
1	118,46	100,01	-	5	15	7408,44	-
2	110,59	96,81	-	5	15	7171,41	-
3	129,50	102,68	-	5	15	7605,93	-
4	94,37	81,16	-	5	15	6011,78	-
5	75,67	73,72	-	5	15	5461,04	-
6	75,67	74,92	-	5	15	5549,33	-
7	68,83	54,74	-	5	15	4055,11	-
8	99,04	74,51	-	5	15	5519,11	-
9	90,19	-	-	5	15	-	-
10	63,31	58,67	-	5	15	4345,63	-
Průměr	92,56	79,69	-	5	15	5903,09	-
Směrodatná odchylka	22,11	17,27	-	0	0	1279,40	-
Variační koeficient [%]	23,89	21,67	-	0	0	21,67	-

**Tabulka 26.: Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu D2**

Vzorek	Materiál P1						
	Maximální síla $F_{max}$ [N]	Mez pružnosti $F_p$ [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul $E_s$ [kPa]	
		$F_{p1}$	$F_{p2}$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$E_{s1}$	$E_{s2}$
1	15,50	3,11	8,69	5	15	230,07	214,57
2	11,51	2,51	6,65	5	15	185,93	164,22
3	16,16	2,86	8,19	5	15	211,48	202,17
4	13,08	2,42	6,62	5	15	178,96	163,43
5	16,00	2,79	8,31	5	15	206,81	205,28
6	16,00	1,79	5,96	5	15	132,44	147,19
7	13,02	1,10	4,61	5	15	81,33	113,88
8	12,67	2,35	6,93	5	15	174,30	171,19
9	11,14	2,20	6,27	5	15	162,67	154,91
10	12,02	1,76	6,31	5	15	130,15	155,70
Průměr	13,71	2,29	6,85	5	15	169,41	169,25
Směrodatná odchylka	2,00	0,60	1,24	0	0	44,66	30,63
Variační koeficient [%]	14,57	26,36	18,09	0	0	26,36	18,09

**Tabulka 27.:** Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu P1

Vzorek	Materiál P2						
	Maximální síla $F_{max}$ [N]	Mez pružnosti $F_p$ [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul $E_s$ [kPa]	
		$F_{p1}$	$F_{p2}$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$E_{s1}$	$E_{s2}$
1	10,82	2,35	6,59	5	15	174,30	162,67
2	13,84	2,64	7,56	5	15	195,19	186,69
3	11,58	2,42	7,09	5	15	178,96	175,06
4	14,78	2,73	7,66	5	15	202,15	189,01
5	11,45	2,79	6,90	5	15	206,81	170,42
6	11,45	2,57	7,50	5	15	190,52	185,14
7	16,69	2,98	8,63	5	15	220,74	213,01
8	15,53	2,98	8,53	5	15	220,74	210,69
9	10,82	1,69	6,02	5	15	125,48	148,72
10	13,93	1,66	6,56	5	15	123,19	161,90
Průměr	13,09	2,48	7,30	5	15	183,81	180,33
Směrodatná odchylka	2,13	0,47	0,84	0	0	34,90	20,83
Variační koeficient [%]	16,30	18,98	11,55	0	0	18,98	11,55

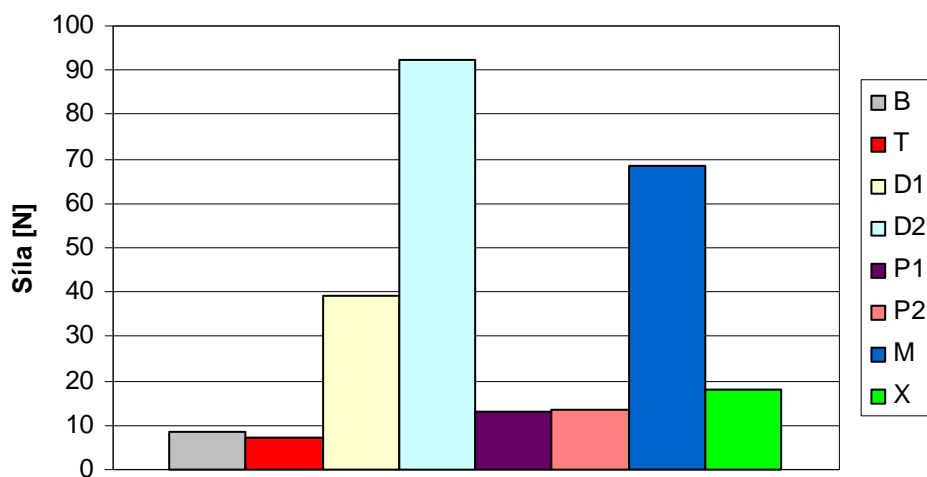
**Tabulka 28.:** Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu P2

Vzorek	Materiál X						
	Maximální síla $F_{max}$ [N]	Mez pružnosti $F_p$ [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul $E_s$ [kPa]	
		$F_{p1}$	$F_{p2}$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$E_{s1}$	$E_{s2}$
1	19,61	4,96	11,51	5	15	367,19	284,30
2	17,26	3,77	9,38	5	15	278,89	231,60
3	17,76	3,80	9,47	5	15	281,19	233,93
4	17,22	3,55	8,78	5	15	262,59	216,89
5	18,04	4,36	10,54	5	15	323,04	260,27
6	18,04	3,95	10,32	5	15	292,81	254,84
7	16,94	3,45	9,07	5	15	255,63	223,85
8	17,69	3,33	9,38	5	15	246,30	231,60
9	18,45	4,05	10,01	5	15	299,78	247,11
10	17,35	3,61	9,26	5	15	267,26	228,52
Průměr	17,84	3,88	9,77	5	15	287,47	241,29
Směrodatná odchylka	0,77	0,49	0,82	0	0	35,98	20,36
Variační koeficient [%]	4,33	12,52	8,44	0	0	12,52	8,44

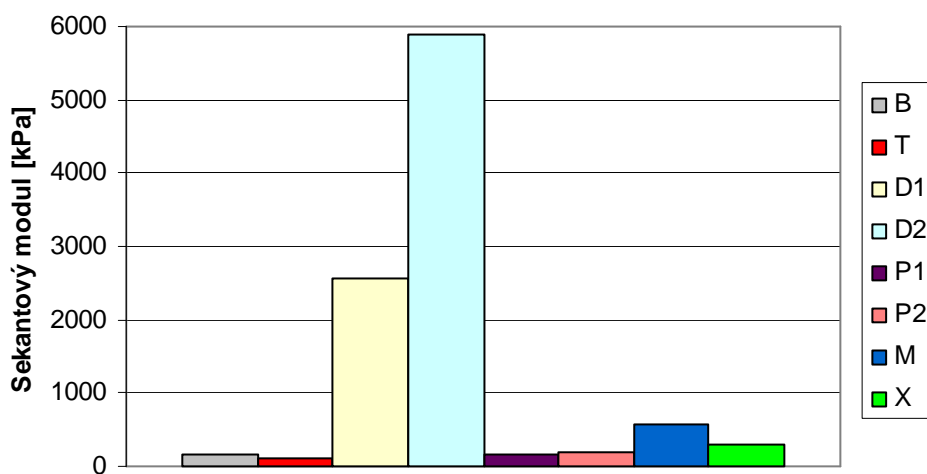
**Tabulka 29.:** Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu X

Vzorek	Materiál M						
	Maximální síla $F_{max}$ [N]	Mez pružnosti $F_p$ [N]		Tažnost $\epsilon$ [%]		Sekantový modul $E_s$ [kPa]	
		$F_{p1}$	$F_{p2}$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$E_{s1}$	$E_{s2}$
1	72,60	9,54	47,00	5	15	706,44	1160,37
2	64,41	8,47	40,97	5	15	627,41	1011,65
3	78,93	12,30	47,69	5	15	910,96	1177,41
4	67,26	5,37	35,11	5	15	397,41	866,79
5	64,41	8,91	43,54	5	15	660,00	1075,16
6	64,41	9,10	46,65	5	15	673,93	1151,85
7	65,98	6,37	39,40	5	15	471,78	972,91
8	67,26	7,44	48,88	5	15	550,74	1206,84
9	70,74	9,79	52,61	5	15	725,04	1299,04
10	60,39	1,10	16,63	5	15	81,33	410,54
Průměr	67,64	7,84	41,85	5	15	580,50	1033,26
Směrodatná odchylka	5,26	3,05	10,22	0	0	225,73	252,35
Variační koeficient [%]	7,77	38,89	24,42	0	0	38,89	24,42

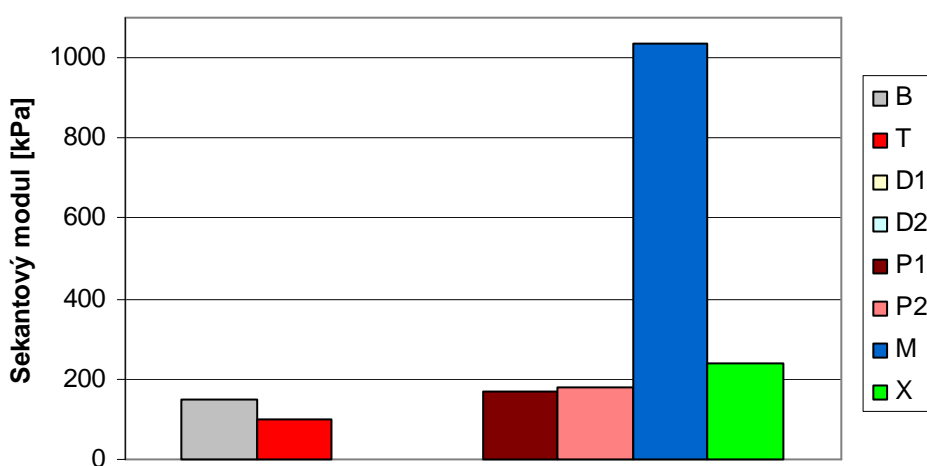
**Tabulka 30.:** Výsledky měření pevnosti v tahu materiálu M



**Graf 11.: Maximální síla**



**Graf 12.: Sekantový modul pružnosti při tažnosti  $\varepsilon = 5\%$**



**Graf 13.: Sekantový modul pružnosti při tažnosti  $\varepsilon = 15\%$**



## Příloha č. 4 : Výsledky měření zvukové pohltivosti

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál B								
1 vrstva	1	0,0100	0,0140	0,0232	0,0295	0,0375	0,0499	0,0623	0,0776	0,0973
	2	0,0285	0,0122	0,0240	0,0301	0,0361	0,0475	0,0616	0,0762	0,0962
	3	0,0157	0,0145	0,0227	0,0296	0,0361	0,0466	0,0591	0,0741	0,0926
	4	0,0193	0,0146	0,0234	0,0305	0,0365	0,0505	0,0653	0,0812	0,0999
	5	0,0068	0,0122	0,0233	0,0295	0,0364	0,0481	0,0611	0,0766	0,0963
	Průměr	0,0160	0,0135	0,0233	0,0298	0,0365	0,0485	0,0619	0,0772	0,0965
	Směrodatná odchylka	0,0085	0,0012	0,0005	0,0004	0,0006	0,0016	0,0023	0,0026	0,0026
	Variační koeficient [%]	52,8437	8,9595	2,0565	1,4964	1,5829	3,3700	3,6516	3,3384	2,7253
2 vrstvy	1	0,0212	0,0241	0,0418	0,0683	0,0963	0,1346	0,1766	0,2199	0,2647
	2	0,0351	0,0257	0,0440	0,0721	0,1045	0,1470	0,1948	0,2436	0,2943
	3	0,0235	0,0246	0,0423	0,0682	0,0975	0,1371	0,1810	0,2253	0,2728
	4	0,0415	0,0240	0,0425	0,0673	0,0965	0,1357	0,1779	0,2223	0,2674
	5	0,0476	0,0259	0,0417	0,0676	0,0952	0,1349	0,1780	0,2211	0,2679
	Průměr	0,0338	0,0248	0,0425	0,0687	0,0980	0,1379	0,1816	0,2265	0,2734
	Směrodatná odchylka	0,0114	0,0009	0,0009	0,0019	0,0037	0,0052	0,0075	0,0098	0,0120
	Variační koeficient [%]	33,5860	3,5577	2,1646	2,8231	3,8042	3,7686	4,1452	4,3332	4,4061
3 vrstvy	1	0,0068	0,0294	0,0810	0,1417	0,2174	0,3016	0,3872	0,4725	0,5367
	2	-0,0009	0,0291	0,0780	0,1374	0,2113	0,2934	0,3808	0,4653	0,5311
	3	0,0203	0,0310	0,0825	0,1478	0,2239	0,3116	0,4008	0,4881	0,5544
	4	0,0284	0,0358	0,0774	0,1398	0,2132	0,2961	0,3818	0,4670	0,5331
	5	0,0174	0,0364	0,0781	0,1395	0,2127	0,2965	0,3829	0,4690	0,5332
	Průměr	0,0144	0,0323	0,0794	0,1412	0,2157	0,2998	0,3867	0,4724	0,5377
	Směrodatná odchylka	0,0115	0,0035	0,0022	0,0039	0,0051	0,0072	0,0082	0,0092	0,0096
	Variační koeficient [%]	79,9219	10,8840	2,8230	2,7960	2,3688	2,4112	2,1286	1,9436	1,7781

Tabulka 31.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu B

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál T								
1 vrstva	1	0,0255	0,0133	0,0291	0,0405	0,0540	0,0742	0,0969	0,1201	0,1505
	2	0,0145	0,0135	0,0277	0,0391	0,0515	0,0689	0,0915	0,1136	0,1403
	3	0,0228	0,0120	0,0289	0,0402	0,0540	0,0720	0,0952	0,1187	0,1488
	4	0,0092	0,0128	0,0274	0,0384	0,0510	0,0701	0,0913	0,1131	0,1391
	5	0,0109	0,0129	0,0287	0,0411	0,0548	0,0742	0,0974	0,1231	0,1519
	Průměr	0,0166	0,0129	0,0284	0,0399	0,0531	0,0719	0,0945	0,1177	0,1461
	Směrodatná odchylka	0,0072	0,0006	0,0007	0,0011	0,0017	0,0024	0,0029	0,0043	0,0060
	Variační koeficient [%]	43,5707	4,2760	2,6047	2,7769	3,2326	3,3335	3,0662	3,6503	4,0935
2 vrstvy	1	0,0430	0,0317	0,0689	0,1235	0,1845	0,2601	0,3391	0,4198	0,4845
	2	0,0279	0,0263	0,0661	0,1162	0,1718	0,2447	0,3192	0,3951	0,4577
	3	0,0222	0,0254	0,0679	0,1197	0,1810	0,2539	0,3303	0,4091	0,4733
	4	0,0161	0,0309	0,0689	0,1229	0,1859	0,2617	0,3402	0,4183	0,4865
	5	0,0381	0,0274	0,0682	0,1187	0,1813	0,2543	0,3281	0,4091	0,4744
	Průměr	0,0295	0,0283	0,0680	0,1202	0,1809	0,2550	0,3314	0,4103	0,4753
	Směrodatná odchylka	0,0111	0,0028	0,0012	0,0030	0,0055	0,0067	0,0086	0,0098	0,0115
	Variační koeficient [%]	37,6110	9,9804	1,6967	2,5107	3,0412	2,6184	2,6032	2,3960	2,4097
3 vrstvy	1	0,04	0,0489	0,1545	0,2747	0,4138	0,5401	0,6473	0,7377	0,7943
	2	0,009	0,0490	0,1497	0,2715	0,4056	0,5289	0,6399	0,7287	0,7870
	3	0,058	0,0540	0,1488	0,2728	0,4068	0,5309	0,6404	0,7281	0,7855
	4	0,051	0,0403	0,1486	0,2654	0,4022	0,5282	0,6375	0,7311	0,7893
	5	0,048	0,0501	0,1511	0,2696	0,4006	0,5289	0,6369	0,7271	0,7847
	Průměr	0,0412	0,0485	0,1505	0,2708	0,4058	0,5314	0,6404	0,7306	0,7882
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0050	0,0024	0,0035	0,0051	0,0050	0,0042	0,0043	0,0039
	Variační koeficient [%]	46,4157	10,3596	1,6000	1,3066	1,2616	0,9321	0,6508	0,5851	0,4885

Tabulka 32.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu T

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál D1								
1 vrstva	1	0,0272	0,0123	0,0234	0,0339	0,0447	0,0610	0,0803	0,1016	0,1281
	2	0,0111	0,0143	0,0218	0,0296	0,0365	0,0493	0,0637	0,0813	0,1027
	3	0,0039	0,0130	0,0226	0,0299	0,0361	0,0499	0,0630	0,0795	0,1006
	4	0,0098	0,0127	0,0228	0,0298	0,0366	0,0494	0,0650	0,0812	0,1039
	5	0,0288	0,0118	0,0216	0,0281	0,0335	0,0464	0,0588	0,0736	0,0908
	Průměr	0,0162	0,0128	0,0225	0,0302	0,0375	0,0512	0,0661	0,0834	0,1052
	Směrodatná odchylka	0,0112	0,0009	0,0008	0,0022	0,0042	0,0056	0,0082	0,0106	0,0138
	Variační koeficient [%]	69,0783	7,2555	3,3440	7,1964	11,3094	11,0012	12,4411	12,7410	13,0852
2 vrstvy	1	0,0398	0,0248	0,0384	0,0700	0,1018	0,1394	0,1836	0,2345	0,2822
	2	0,0249	0,0259	0,0389	0,0770	0,1125	0,1590	0,2115	0,2573	0,3125
	3	0,0196	0,0243	0,0408	0,0709	0,1031	0,1391	0,1898	0,2385	0,2859
	4	0,0439	0,0218	0,0439	0,0741	0,1037	0,1512	0,1959	0,2500	0,3041
	5	0,0478	0,0230	0,0376	0,0731	0,1070	0,1468	0,1959	0,2449	0,2923
	Průměr	0,0352	0,0240	0,0399	0,0730	0,1056	0,1471	0,1954	0,2450	0,2954
	Směrodatná odchylka	0,0123	0,0016	0,0025	0,0028	0,0043	0,0084	0,0104	0,0091	0,0127
	Variační koeficient [%]	34,9515	6,6723	6,3712	3,7846	4,0622	5,7044	5,3052	3,7019	4,2909
3 vrstvy	1	0,04	0,0429	0,0822	0,1554	0,2327	0,3244	0,4110	0,4975	0,5613
	2	0,009	0,0397	0,0789	0,1491	0,2226	0,3091	0,3962	0,4685	0,5365
	3	0,058	0,0397	0,0742	0,1477	0,2235	0,3109	0,3871	0,4754	0,5502
	4	0,051	0,0312	0,0870	0,1212	0,2285	0,3008	0,3987	0,4751	0,5441
	5	0,048	0,0343	0,0774	0,1507	0,2232	0,2965	0,3992	0,4668	0,5518
	Průměr	0,0412	0,0376	0,0800	0,1448	0,2261	0,3084	0,3984	0,4767	0,5488
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0047	0,0049	0,0135	0,0043	0,0107	0,0086	0,0123	0,0092
	Variační koeficient [%]	46,4157	12,5323	6,1376	9,3178	1,9208	3,4853	2,1487	2,5751	1,6816

**Tabulka 33.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu D1**

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál D2								
1 vrstva	1	0,0109	0,0114	0,0215	0,0268	0,0328	0,0452	0,0577	0,0739	0,0937
	2	0,0170	0,0143	0,0242	0,0350	0,0429	0,0579	0,0757	0,0990	0,1245
	3	0,0081	0,0111	0,0233	0,0295	0,0377	0,0506	0,0674	0,0860	0,1086
	4	0,0148	0,0136	0,0226	0,0272	0,0358	0,0482	0,0614	0,0794	0,1010
	5	0,0047	0,0138	0,0246	0,0417	0,0567	0,0794	0,1061	0,1414	0,1745
	Průměr	0,0111	0,0129	0,0232	0,0320	0,0412	0,0562	0,0737	0,0960	0,1205
	Směrodatná odchylka	0,0050	0,0015	0,0013	0,0063	0,0094	0,0138	0,0194	0,0271	0,0323
	Variační koeficient [%]	44,6852	11,5470	5,4040	19,6459	22,8360	24,4861	26,3022	28,2285	26,8287
2 vrstvy	1	0,0394	0,0269	0,0442	0,0805	0,1216	0,1692	0,2156	0,2767	0,3309
	2	0,0521	0,0283	0,0453	0,0918	0,1339	0,1906	0,2545	0,3119	0,3725
	3	0,0178	0,0255	0,0491	0,0811	0,1043	0,1674	0,2019	0,2826	0,3395
	4	0,0593	0,0261	0,0493	0,0800	0,1287	0,1767	0,2349	0,2965	0,3517
	5	0,0340	0,0239	0,0464	0,0646	0,1061	0,1432	0,2067	0,2598	0,3078
	Průměr	0,0405	0,0262	0,0469	0,0796	0,1189	0,1694	0,2227	0,2855	0,3405
	Směrodatná odchylka	0,0162	0,0017	0,0023	0,0097	0,0133	0,0173	0,0218	0,0198	0,0240
	Variační koeficient [%]	39,9342	6,3532	4,8949	12,1789	11,1580	10,1983	9,7823	6,9331	7,0611
3 vrstvy	1	0,04	0,0348	0,0903	0,1667	0,2419	0,3524	0,4320	0,5158	0,5641
	2	0,009	0,0517	0,0949	0,1800	0,2543	0,3583	0,4475	0,5214	0,5663
	3	0,058	0,0448	0,0995	0,1503	0,2788	0,3679	0,4345	0,5277	0,5785
	4	0,051	0,0423	0,1265	0,2319	0,3380	0,4569	0,5708	0,6526	0,7141
	5	0,048	0,0481	0,0837	0,1991	0,2814	0,3924	0,4727	0,5428	0,5828
	Průměr	0,0412	0,0443	0,0990	0,1856	0,2789	0,3856	0,4715	0,5520	0,6012
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0064	0,0165	0,0315	0,0370	0,0427	0,0578	0,0571	0,0636
	Variační koeficient [%]	46,4157	14,4242	16,6286	16,9513	13,2628	11,0687	12,2612	10,3471	10,5871

**Tabulka 34.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu D2**

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál P1								
1 vrstva	1	0,0103	0,0124	0,0233	0,0307	0,0366	0,0510	0,0656	0,0826	0,1024
	2	-0,0042	0,0136	0,0235	0,0310	0,0385	0,0517	0,0671	0,0856	0,1069
	3	0,0256	0,0125	0,0225	0,0295	0,0364	0,0493	0,0621	0,0791	0,0998
	4	0,0111	0,0138	0,0230	0,0309	0,0379	0,0510	0,0663	0,0841	0,1041
	5	0,0291	0,0125	0,0228	0,0295	0,0365	0,0493	0,0624	0,0797	0,1002
	Průměr	0,0144	0,0129	0,0230	0,0303	0,0372	0,0505	0,0647	0,0822	0,1027
	Směrodatná odchylka	0,0134	0,0007	0,0004	0,0007	0,0010	0,0011	0,0023	0,0028	0,0029
	Variační koeficient [%]	92,8367	5,0859	1,6450	2,4087	2,6515	2,1279	3,5762	3,3877	2,8509
2 vrstvy	1	0,0301	0,0247	0,0445	0,0762	0,1104	0,1538	0,2038	0,2562	0,3071
	2	0,0509	0,0230	0,0429	0,0714	0,1061	0,1476	0,1940	0,2413	0,2913
	3	0,0400	0,0229	0,0429	0,0709	0,1021	0,1446	0,1901	0,2386	0,2858
	4	0,0230	0,0275	0,0466	0,0782	0,1158	0,1616	0,2120	0,2678	0,3178
	5	0,0090	0,0235	0,0422	0,0732	0,1050	0,1473	0,1968	0,2458	0,2942
	Průměr	0,0306	0,0243	0,0438	0,0740	0,1079	0,1510	0,1993	0,2499	0,2992
	Směrodatná odchylka	0,0160	0,0019	0,0018	0,0032	0,0053	0,0068	0,0087	0,0120	0,0130
	Variační koeficient [%]	52,2493	7,8487	3,9951	4,2595	4,9287	4,5007	4,3444	4,8185	4,3370
3 vrstvy	1	0,04	0,0377	0,0854	0,1590	0,2440	0,3343	0,4258	0,5130	0,5760
	2	0,009	0,0333	0,0870	0,1614	0,2454	0,3388	0,4322	0,5192	0,5851
	3	0,058	0,0341	0,0869	0,1628	0,2490	0,3396	0,4316	0,5208	0,5842
	4	0,051	0,0403	0,0915	0,1679	0,2519	0,3484	0,4436	0,5315	0,5972
	5	0,048	0,0348	0,0826	0,1561	0,2369	0,3266	0,4195	0,5051	0,5691
	Průměr	0,0412	0,0360	0,0867	0,1614	0,2454	0,3375	0,4306	0,5179	0,5823
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0029	0,0032	0,0044	0,0057	0,0080	0,0089	0,0098	0,0106
	Variační koeficient [%]	46,4157	8,0872	3,7155	2,7208	2,3210	2,3565	2,0736	1,8920	1,8162

**Tabulka 35.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu P1**

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál P2								
1 vrstva	1	0,0285	0,0113	0,0236	0,0319	0,0386	0,0515	0,0675	0,0837	0,1062
	2	0,0132	0,0122	0,0234	0,0301	0,0375	0,0503	0,0635	0,0790	0,0994
	3	-0,0032	0,0145	0,0227	0,0305	0,0378	0,0513	0,0659	0,0814	0,1031
	4	0,0245	0,0142	0,0229	0,0297	0,0358	0,0483	0,0626	0,0757	0,0967
	5	0,0181	0,0148	0,0235	0,0308	0,0391	0,0519	0,0667	0,0835	0,1054
	Průměr	0,0162	0,0134	0,0232	0,0306	0,0378	0,0507	0,0652	0,0807	0,1022
	Směrodatná odchylka	0,0123	0,0015	0,0004	0,0008	0,0013	0,0015	0,0021	0,0033	0,0041
	Variační koeficient [%]	76,1689	11,5385	1,7809	2,7132	3,3532	2,8767	3,2253	4,1427	3,9679
2 vrstvy	1	0,0271	0,0220	0,0450	0,0750	0,1095	0,1555	0,2048	0,2562	0,3066
	2	0,0210	0,0267	0,0425	0,0724	0,1068	0,1473	0,1980	0,2470	0,2957
	3	0,0278	0,0237	0,0443	0,0750	0,1086	0,1520	0,2054	0,2542	0,3033
	4	0,0157	0,0241	0,0432	0,0707	0,1043	0,1460	0,1926	0,2418	0,2895
	5	0,0220	0,0234	0,0442	0,0746	0,1090	0,1519	0,2017	0,2513	0,3019
	Průměr	0,0227	0,0240	0,0439	0,0735	0,1076	0,1506	0,2005	0,2501	0,2994
	Směrodatná odchylka	0,0050	0,0017	0,0010	0,0019	0,0021	0,0039	0,0053	0,0058	0,0068
	Variační koeficient [%]	21,8387	7,1836	2,2540	2,5995	1,9717	2,5658	2,6406	2,3195	2,2697
3 vrstvy	1	0,04	0,0323	0,0895	0,1655	0,2491	0,3436	0,4367	0,5254	0,5890
	2	0,009	0,0358	0,0856	0,1565	0,2381	0,3289	0,4215	0,5083	0,5721
	3	0,058	0,0340	0,0842	0,1544	0,2327	0,3248	0,4128	0,5003	0,5652
	4	0,051	0,0391	0,0862	0,1635	0,2485	0,3399	0,4331	0,5215	0,5854
	5	0,048	0,0338	0,0888	0,1607	0,2456	0,3320	0,4261	0,5135	0,5775
	Průměr	0,0412	0,0350	0,0869	0,1601	0,2428	0,3338	0,4260	0,5138	0,5778
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0026	0,0022	0,0047	0,0071	0,0078	0,0095	0,0101	0,0097
	Variační koeficient [%]	46,4157	7,4965	2,5270	2,9059	2,9365	2,3245	2,2192	1,9581	1,6750

**Tabulka 36.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu P2**

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ – materiál M								
1 vrstva	1	0,0536	0,0126	0,0221	0,0290	0,0342	0,0468	0,0591	0,0743	0,0915
	2	0,05467	0,0123	0,0213	0,0287	0,0328	0,0448	0,0570	0,0717	0,0883
	3	0,0144	0,0129	0,0221	0,0279	0,0341	0,0458	0,0568	0,0721	0,0922
	4	0,0111	0,0138	0,0224	0,0287	0,0350	0,0461	0,0595	0,0726	0,0945
	5	0,0022	0,0131	0,0229	0,0319	0,0393	0,0534	0,0682	0,0879	0,1101
	Průměr	0,0272	0,0130	0,0221	0,0292	0,0351	0,0474	0,0601	0,0757	0,0953
	Směrodatná odchylka	0,0250	0,0005	0,0006	0,0016	0,0025	0,0034	0,0047	0,0069	0,0086
	Variační koeficient [%]	91,9884	4,2246	2,6234	5,3011	7,1145	7,2814	7,7646	9,0788	8,9794
2 vrstvy	1	0,0064	0,0206	0,0408	0,0657	0,0994	0,1401	0,1830	0,2281	0,2741
	2	0,0129	0,0197	0,0410	0,0640	0,0963	0,1355	0,1803	0,2250	0,2743
	3	0,0409	0,0241	0,0416	0,0659	0,0981	0,1373	0,1805	0,2251	0,2721
	4	0,0288	0,0210	0,0415	0,0641	0,0944	0,1314	0,1742	0,2173	0,2638
	5	0,0377	0,0230	0,0415	0,0660	0,0974	0,1345	0,1791	0,2246	0,2703
	Průměr	0,0254	0,0217	0,0413	0,0651	0,0971	0,1358	0,1794	0,2240	0,2709
	Směrodatná odchylka	0,0152	0,0018	0,0004	0,0010	0,0019	0,0033	0,0032	0,0040	0,0043
	Variační koeficient [%]	59,7594	8,3797	0,8744	1,5501	1,9447	2,3941	1,8065	1,7905	1,5874
3 vrstvy	1	0,04	0,0308	0,0789	0,1330	0,2137	0,2945	0,3792	0,4600	0,5239
	2	0,009	0,0235	0,0790	0,1350	0,2115	0,2919	0,3761	0,4585	0,5222
	3	0,058	0,0318	0,0761	0,1283	0,2023	0,2832	0,3675	0,4474	0,5116
	4	0,051	0,0252	0,0799	0,1332	0,2130	0,2944	0,3777	0,4576	0,5217
	5	0,048	0,0311	0,0787	0,1304	0,2102	0,2933	0,3755	0,4579	0,5198
	Průměr	0,0412	0,0285	0,0785	0,1320	0,2101	0,2914	0,3752	0,4563	0,5199
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0038	0,0014	0,0026	0,0046	0,0047	0,0046	0,0050	0,0048
	Variační koeficient [%]	46,4157	13,4636	1,8003	1,9945	2,1871	1,6220	1,2146	1,1034	0,9321

**Tabulka 37.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu M**

	Vzorek	Frekvence zvuku [Hz]								
		50	250	450	650	850	1050	1250	1450	1600
		Hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti $\alpha$ - materiál X								
1 vrstva	1	0,0062	0,0131	0,0225	0,0291	0,0362	0,0486	0,0615	0,0768	0,0972
	2	0,05467	0,0114	0,0221	0,0280	0,0337	0,0448	0,0560	0,0723	0,0906
	3	0,0167	0,0149	0,0227	0,0318	0,0388	0,0527	0,0703	0,0873	0,1095
	4	0,0283	0,0132	0,0228	0,0292	0,0346	0,0473	0,0632	0,0782	0,0985
	5	0,01526	0,0129	0,0220	0,0309	0,0351	0,0486	0,0626	0,0779	0,0995
	Průměr	0,0242	0,0131	0,0224	0,0298	0,0356	0,0484	0,0627	0,0785	0,0991
	Směrodatná odchylka	0,0187	0,0012	0,0003	0,0015	0,0020	0,0028	0,0051	0,0055	0,0068
	Variační koeficient [%]	77,2557	9,3414	1,5150	5,1307	5,4947	5,8795	8,1596	6,9645	6,8669
2 vrstvy	1	0,0307	0,0202	0,0406	0,0660	0,0949	0,1357	0,1797	0,2260	0,2716
	2	0,0342	0,0232	0,0422	0,0700	0,0994	0,1467	0,1951	0,2401	0,2916
	3	0,0482	0,0234	0,0407	0,0660	0,0967	0,1388	0,1822	0,2288	0,2751
	4	0,0296	0,0227	0,0404	0,0648	0,0950	0,1348	0,1783	0,2260	0,2725
	5	0,0256	0,0215	0,0394	0,0642	0,0936	0,1353	0,1799	0,2253	0,2706
	Průměr	0,0337	0,0222	0,0407	0,0662	0,0959	0,1382	0,1830	0,2293	0,2763
	Směrodatná odchylka	0,0087	0,0014	0,0010	0,0022	0,0022	0,0050	0,0069	0,0062	0,0087
	Variační koeficient [%]	25,8118	6,1167	2,4244	3,3963	2,3072	3,5825	3,7494	2,7113	3,1562
3 vrstvy	1	0,04	0,0296	0,0795	0,1407	0,2266	0,3171	0,4044	0,4912	0,5554
	2	0,009	0,0220	0,0803	0,1439	0,2239	0,3105	0,3994	0,4833	0,5478
	3	0,058	0,0237	0,0852	0,1545	0,2324	0,3247	0,4124	0,4990	0,5642
	4	0,051	0,0282	0,0899	0,1594	0,2475	0,3404	0,4296	0,5196	0,5858
	5	0,048	0,0267	0,0805	0,1374	0,2099	0,2999	0,3830	0,4658	0,5317
	Průměr	0,0412	0,0260	0,0831	0,1472	0,2281	0,3185	0,4058	0,4918	0,5570
	Směrodatná odchylka	0,0191	0,0032	0,0044	0,0094	0,0137	0,0153	0,0171	0,0198	0,0200
	Variační koeficient [%]	46,4157	12,1460	5,3189	6,3718	5,9870	4,7954	4,2246	4,0350	3,5965

**Tabulka 38.: Výsledky měření pohltivosti zvuku materiálu X**

